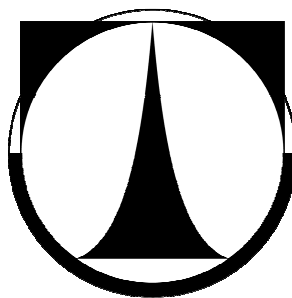


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

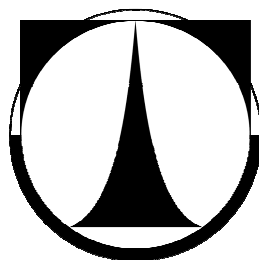


DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2011

Kutnerová Michaela

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: M3106 Textilní inženýrství
Studijní obor: Oděvní technologie

Rozvinování povrchu lidského těla pro konstrukci oděvů

Unfolding human body surface for the construction of clothing

Michaela Kutnerová
KOD/2011/06/19/MS

Vedoucí práce: Ing. Renáta Nemčoková

Rozsah práce: 83 stran práce a 16 stran přílohy

Počet obrázků: 65

Počet tabulek: 3

Počet příloh: 3

Oficiální zadání

P r o h l á š e n í

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 13. 5. 2011

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Renátě Nemčokové za rady, vedení a podporu při psaní mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Lukášovi Stanislavovi, který mi byl nápomocen při práci v softwaru CATIA V5. Poděkování patří i mé rodině, která mi byla po celou dobu studia velkou oporou.

Anotace

První část diplomové práce se zabývá obecnou studií metodik postupů zpracování naskenovaných dat lidského těla. Dále je popsáno využití těchto dat v procesu konstrukce a modelování oděvů ve 3D na virtuálním modelu lidského těla až po rozvinutí do 2D.

Druhou část diplomové práce tvoří experiment, zabývající se rozvinutím povrchu modelu figuríny, který je realizován v softwaru Catia V5. Průběh modelování a konstrukční řešení v programu je doprovázeno obrazovou dokumentací. Rozvinutý povrch horní části těla je porovnán s tvarem konstrukčního střihu dámského spodního prádla vytvořeného dle metodiky Müller & Sohn.

Klíčová slova:

Lidské tělo, 3D skenování dat, 3D model těla, mrak bodů, rozvinutý povrch.

Annotation

The first part of this graduation thesis engages in the general study of the methodology procedures in the processing of scanned data of the human body. Furthermore is described the usage of these data in the construction and modeling process of clothes in 3D on a virtual model of the human body up to the unfolding into 2D.

The second part of this graduation thesis is an experiment, dealing with the unfoldment of the surface of the dummy model, which is realized in the software Catia V5. The modeling process and the constructional solutions from the program are accompanied by illustrations. The unfolded surface of the upper body is compared to the shape of the design cut of lingerie made according to the procedure developed by Müller & Sohn.

Key words:

Human body, 3D data scan, 3D model of the body, the cloud of points, unfolded surface.

OBSAH

Použité zkratky:	9
Úvod.....	10
Teoretická část	11
1. Reversní inženýrství v oděvním průmyslu	11
2. 3D digitalizace	12
2.1 Metody digitalizace.....	12
2.1.1 Triangulace	12
1.1.1.1 Aktivní triangulace	13
1.1.1.2 Pasivní triangulace	15
2.1.2 Měření doby letu světla - TOF (Time Of Flight).....	15
2.1.3 Fotogrammetrie.....	15
2.2 Automatizované metody naskenovaných dat lidského těla vs. manuální metody	16
3. Vývoj zpracování naskenovaných dat lidského těla	17
3.1 Předúprava naskenovaných dat lidského těla před procesem.....	18
3.1.1 Zjednodušení vrstvy bodů a vyloučení obrysů - filtrace.....	19
3.1.2 Orientace naskenovaných dat lidského těla	20
3.1.3 Detekce vzniklých děr	20
3.2 Funkční model modelu člověka.....	22
3.2.1 Rekonstrukce a parametrizace první vrstvy modelu člověka	23
3.3 Stavba drátového (sítě) modelu	23
3.3.1 Hlavní funkční body	24
3.3.2 Sémantické funkční body.....	24
3.3.3 Drátová konstrukce	24
3.3.4 Křivky	25
3.3.5 Parametrizace drátového modelu.....	26
3.4 Modelování povrchu těla	27
3.4.1 Plochy	28
3.4.2 Síťové modely.....	30
3.5 Symetrizace modelu těla.....	31
3.6 Validace modelu těla pomocí volumetrie	33
3.7 Parametrické navrhování modelu člověka.....	33

3.8	Rozvinování	36
4.	Aplikace zpracovaných dat v konstrukci oděvu	37
4.1	Analýza počítačového modelu těla	37
4.2	3D vizualizace oděvu na virtuální model těla.....	37
4.2.1	Škálování	38
4.2.2	Určení polohy hlavních bodů a tvarování částí kontury 3D dámských šatů	39
4.2.3	Konstrukce drátového modelu na 3D prototyp oděvu	40
4.3	Optimalizace padnutí přiléhavého oděvu	41
4.4	Rozvinutí do 2D	42
4.4.1	Rozvinutí prototypu oděvu	43
4.5	Porovnání metodik 3D a 1D	44
	Experimentální část.....	46
5.	Úprava nasnímaných dat.....	46
6.	Úprava počítačového modelu figuríny	47
6.1	Výběr vhodné konstrukce dámského oděvu	51
6.2	3D vizualizace zvoleného typu oděvu na model figuríny.....	53
6.2.1	Aplikace hlavních obrysových čar oděvu	53
6.2.2	Aplikace vedlejších obrysových čar oděvu	56
6.2.3	Dělení jednotlivých zón	57
7.	Rozvinutí do 2D	64
7.1	Práce ve výkresovém modulu Drafting	66
7.1.1	Vygenerování jednotlivých dílků zón.....	68
7.1.2	Modelace prototypu oděvu	70
7.2	Porovnání 2D rozvinuté plochy se stříhem dámského oděvu.....	71
7.3	Vyhodnocení a diskuze	75
8.	Závěr	78
	Literatura.....	81
	Seznam příloh	84

Použité zkratky:

1D	jednodimenzionální, jednorozměrný
2D	dvoudimenzionální, rovinný model objektu
3D	třidimenzionální, prostorové objekty
Atd.	a tak dále
A spol.	a společníci
Cca	přibližně
CAD	Computer-aided design - počítačová podpora projektování
CCD	Charge Coupled Device - zařízení s nábojovou vazbou
CMOS	Complementary MOS - technologie výroby polovodičů
cm	centimetr
DXF	Data eXchange Format - formát výměny dat
LECTRA	integrovaný technologický software
mm	milimetr
NURBS	Non-Uniform Rational B-Splines – racionální Bezierovy křivky s neuniformní parametrizací
Obr.	obrázek
RGB	Red-Green-Blue - Červená-Zelená-Modrá, aditivní systém barev
PD	přední díl
Tj.	to jest
USB	Universal Serial Bus - univerzální sériová sběrnice
ZD	zadní díl

Úvod

Modelování lidského těla z reálných naskenovaných dat je součástí reverzního inženýrství. Je důležitou aplikací ve virtuálním světě, ve virtuálním oděvním designu a operativních simulacích. Metodiky modelování lidského těla mohou být v literatuře zařazeny do kreativních a rekonstrukčních přístupů. V poslední době se mnoho rekonstrukčních přístupů zabývá automatickou stavbou 3D lidské geometrie. Cílem je zachytit přesný tvar postavy člověka.

Rešeršní část diplomové práce se zabývá studii metod zpracování naskenovaných dat lidského těla a následným využitím těchto dat v procesu konstrukce a modelování oděvů. Jak bylo již zmíněno, metodiky modelování lidského těla jsou založeny na kreativních a rekonstrukčních přístupech. Díky kreativitě modelářů při zpracování naskenovaných dat lidského těla není pevně dán postup zpracování. Novými výzkumy a dalšími experimenty jsou metodiky vylepšovány a měněny. Snahou této práce bylo metodiky shrnout a obecně je popsat. Příkladem a aplikacím využití těchto dat v procesu konstrukce a modelování oděvů byla věnována samostatná kapitola. Je zde popsán obecný postup od konstrukce 3D šatů na virtuální model lidského těla až po jeho možnost rozvinutí do 2D.

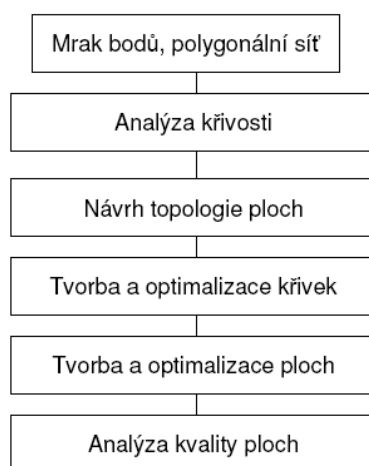
Experimentální část diplomové práce je zpracována v 3D softwaru Catia V5. Na povrch upraveného modelu figuríny je aplikován způsob dělení pomocí sítě křivek. Způsob postupu je nastudován z metodik z předcházející literární rešerše. Takto připravené dělení modelu figuríny umožnilo rozvinout povrch vybrané horní části těla. Ze získaného rozvinutého 2D povrchu byl sestaven tvar prototypu oděvu. Prototypem oděvu bylo zvoleno dámské spodní prádlo, dámské body. Pro porovnání získaného rozvinutého tvaru byla vytvořena konstrukce dámského body. Zkonstruovaný střih dám. body byl odzkoušen na reálném modelu figuríny. Následně byl porovnán rozvinutý tvar prototypu oděvu s počítačově upraveným tvarem střihu dámského body. Výsledky práce jsou popsány v závěru této práce.

Teoretická část

1. Reversní inženýrství v oděvním průmyslu

Reverzní inženýrství (dále označováno RE) se odkazuje na vytvoření modelu v CAD systémech z existujícího fyzického objektu, který může být využit jako nástroj pro navrhování a výrobu geometrických a fyzikálních modelů v počítači. Metody RE je v současnosti stále více využíváno ke zdokonalení vývoje výrobku a jeho výroby, ne pouze k získání 3D digitální kopie. [4]

Proces RE úpravy naskenovaných dat je graficky znázorněn na Obr. 1. [13]



Obr. 1 - Proces úpravy naskenovaných dat v RE [13]

V RE může být fyzický předmět rychle nasnímán bezkontaktní měřicí technikou. Obvykle jsou vyprodukovaná data v podobě libovolně rozptýleného mraku bodů. Většina výzkumů se zaměřuje na rekonstrukci ploch na tyto body pro vytvoření geometrického modelu RE. Povrchová montáž je jedním z aspektů RE. Je nutné dodržovat použitelnost vytvořených ploch pro následné využití a obnovení návrhu v průběhu stavby modelu. [10]

Základní koncept RE pro oděvní průmysl představuje rekonstrukci základních vrstev lidského modelu a postup parametrizace pro automatický design oděvu. [4]

2. 3D digitalizace

Technologií nazývané 3D digitalizace je možné převést 3-rozměrný hmotný objekt do digitální podoby. Digitalizace je proces, při kterém dochází ke snímání souřadnic hmotného objektu v prostoru, jejich následující úpravě a na konci jsou převedeny pomocí CAD systému do rovinného nebo objemového digitálního modelu. Digitalizace patří do oblasti RE. [14]

Příchod 3D skenovací technologie umožnil využití naskenovaných dat v moderní antropometrii a nahradil tak tradiční metr. Zachycením geometrie těla skutečných lidí, poskytuje nejlepší dostupné zdroje k modelování a k odhadu korelace mezi měřením a tvarem. [6]

Zařízení pro nasnímání prostorových souřadnic hmotného objektu slouží především 3D skenery. Zařízení pracuje na principu snímání povrchu objektu v diskrétních bodech, tzn. že zdigitalizovaný objekt je v počítači zobrazen jako velký počet bodů v prostoru (tzv. mrak bodů). Skenery se od sebe liší hlavně tím, jakým způsobem dochází ke snímání bodů povrchu objektu, a to na dotykové, fotogrammetrické (optické), laserové, destruktivní, rentgenové a ultrazvukové. 3D skenery jsou popsány v příloze 1. [14]

2.1 Metody digitalizace

Při skenování objektu dochází ke ztrátě důležité informace o jedné souřadnici, a to třetí souřadnici. K získání třetího rozměru slouží metody měření doby letu světla, triangulace a fotogrametrie. [17]

2.1.1 Triangulace

Metody založené na principech triangulace jsou využívány nejčastěji. Dělí se do několika modifikací, a to na aktivní triangulaci, pasivní triangulaci, měřicí systémy s teodolitem, fokusovací techniky a techniky tzv. podoba ze stínováním. Nejdůležitější dva typy jsou aktivní a pasivní triangulace.

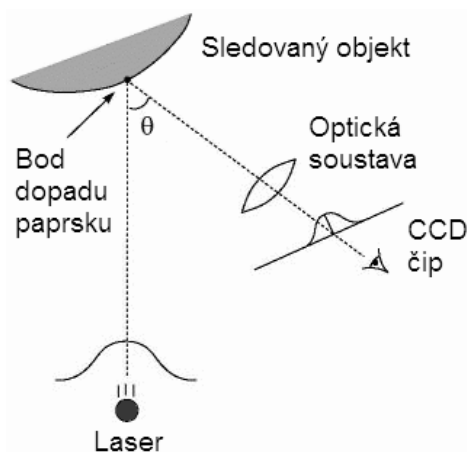
Nevýhodou metody triangulace je náročnost na konstrukci měřicí aparatury. [17]

1.1.1.1 Aktivní triangulace

Technika spočívá v nasvícení povrchu snímaného objektu aktivním světelným zdrojem a současným snímáním povrchu objektu prostřednictvím snímače (CCD, CMOS). Výsledkem je rastrový obraz.

Zdroj světla spolu se snímačem a osvětleným bodem (vzorem) na zkoumaném objektu tvoří tzv. triangulační trojúhelník. Spojnici světelného zdroje a snímače nazýváme triangulační bází (základnou). Na straně světelného zdroje je úhel svíraný s triangulační bází neměnný, zatímco na povrch snímače dopadá paprsek vždy pod jiným úhlem. Z velikosti tohoto úhlu a na základě znalosti triangulační báze lze určit vzdálenost bodu (Z-tové souřadnice) na povrchu snímaného objektu.

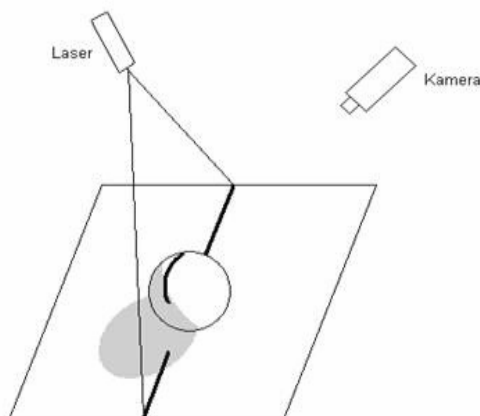
Metoda aktivní triangulace je zpravidla používána, je-li světelným zdrojem laserový paprsek. Ilustrace aktivní triangulace je znázorněna na Obr. 2. Tato metoda s využitím laserového paprsku je při snímání lidského těla v současné době nejpoužívanější. [17] [21]



Obr. 2 - Aktivní triangulace [21]

Nevýhodou u 1D a 2D triangulace je to, že díky konkavitám v měřeném objektu nemusí být promítaný bod (pruh, vzor) vždy viditelný. Nelze v tomto místě nic říci o snímaném povrchu objektu. Problém je znázorněn na Obr. 3, kde je rovina proužku vytvořena laserem a scénu snímá kamera. Šedé místa na obrázku znázorňují oblast, kterou kamera nevidí. Dolní část snímaného předmětu (koule) není zase osvětlena rovinou z laseru. U snímání lidského těla dochází k takto neviditelným místům nejčastěji v dolní části těla u nohou mezi stehny a v horní části těla v místě podpaží.

U 3D triangulace použitím strukturovaného světelného svazku, je celý objekt označen najednou, což je výhodou oproti metodám 1D a 2D triangulace, kde je třeba pracného a zdlouhavého skenování scény. [17] [21]

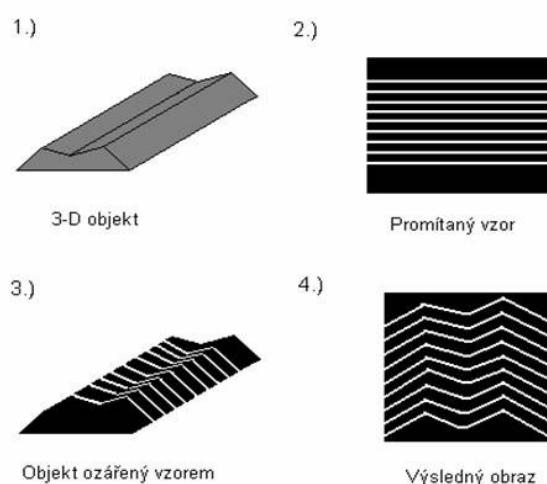


Obr. 3 - Problém viditelnosti u triangulačních metod [18]

Podle použitého světelného vzoru je možno rozdělit tuto metodu na:

- 1D triangulace - světelným vzorem je bod
- 2D triangulace - světelným vzorem je pruh
- 3D triangulace - světelným vzorem je strukturovaný světelný rastr.

Obr. 4 znázorňuje jednu z možností 3D triangulace, kdy je na trojrozměrný objekt promítnut vzor – strukturovaný světelný svazek. Podle deformací vzoru na snímání objektu lze určit tvar objektu. [18]



Obr. 4 - Technika světelného vzoru (3D triangulace) [18]

1.1.1.2 Pasivní triangulace

Při pasivní triangulaci není uvažováno geometrické uspořádání osvětlení. Nejpoužívanější modifikací této metody je metoda stereovidění, jež odpovídá principu na kterém pracuje lidský zrakový systém při odhadu vzdálenosti.

Stereovidění využívá dvou obrazových snímačů (CCD), jejichž normály na rovinu snímání jsou rovnoběžné a mají konstantní vzdálenost (65 mm, podobně jako u lidského zraku). Pomocí dvojice snímačů získáme dva stereoskopické snímky, což jsou dva perspektivní obrazy snímaného objektu. Důležitý je úhel, který svírají oba sdružené paprsky (tzv. úhlová paralaxa). Lze jím získat vzdálenost povrchu od středu pohledu obou snímačů. [17] [21]

2.1.2 Měření doby letu světla - TOF (Time Of Flight)

Vzdálenost bodu na povrchu objektu, resp. Z-ová souřadnice, je stanovena z doby letu světelného paprsku od času jeho vyslání světelným zdrojem, odražení od snímaného objektu, až po jeho zachycení snímaným senzorem. Jedná se o korelaci (vsoustažnost) rychlosti vhodného referenčního signálu s měřeným modulovaným optickým signálem. Ten může být modulovaný pulzně, pseudonáhodně a spojitě.

Mezi nevýhody této metody patří skutečnost, že rychlost světla je velmi vysoká (cca $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$), což klade velké nároky na přesnost měřicího zařízení. Tento princip využívá především u 3D skenerů pro skenování budov, topografie krajiny a laserových radarů. [21]

2.1.3 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je systém, který se zabývá rekonstrukcí tvarů, měření rozměrů a určováním polohy. Vše je zobrazeno na fotografických snímcích. Snímkování se provádí třemi fotogrammetrickými metodami: univerzálně, kombinovaně a integrací. Nasnímaná data, získaná při měření, mohou být použity k vytvoření digitálního modelu a následně porovnat s teoretickým CAD modelem.

Měřený objekt se na vhodných místech opatří kruhovými značkami. Potom se pořídí libovolný počet snímků z různých stran. Na snímcích se musí vyskytnout všechny body minimálně 3 krát. Součástí snímku bývá kalibrační tyč, která leží vedle

měřeného předmětu. Pořízené snímky se vyhodnotí speciálním programem. Výsledkem je 3D mrak bodů. Mezi body lze přesně změřit vzdálenost.

Tato metoda je rychlejší, levnější a přesnější než měřicí mechanické zařízení. Nevýhodou je ruční způsob pořizování snímků. Systém není vhodný pro sériová měření. [19]

2.2 Automatizované metody naskenovaných dat lidského těla vs. manuální metody

Nevýhody automatizovaných metod:

- citlivost umístěných bodů a plošná délka držení těla během skenování, a to zejména v oblastech s vysokou deformací,
- použití jedné referenční pozice k nalezení orientačních bodů a výtah měření,
- chybějící hmatatelná zpětná vazba na kosterní prvky,
- omezený přístup k zastíněným oblastem,
- nedostatečná deformace naskenovaných dat, například volné záhyby oblečení a měkké tělo. [5]

Nicméně se zdá, že procesy automatizovaného skenování mají řadu výhod v orientační detekci, včetně:

- rychlost, a tudíž vysoký výkon,
- menší narušení předmětu,
- schopnost realizace v antropometrických standardních softwarech, tedy potencionálně vysoká reprodukovatelnost,
- jednoduché analytické detekce funkce, jako je maximum a minimum. [5]

3. Vývoj zpracování naskenovaných dat lidského těla

Problém modelování lidského těla je ústředním úkolem počítačové grafiky. Jsou k dispozici různé metodiky modelování lidského těla, které jsou zařazeny do tvůrčího přístupu a rekonstrukce. Modely, které by měli imitovat skutečné části těla, se skládají z několika simulovaných vrstev jednotlivých svalů, kostí a tkání. Zatímco umožňují interaktivní design, naopak vyžadují značný zásah uživatele, a tím se tak snižuje výrobní čas a nedostatek účinných kontrolních zařízení.

Metody, které užívají užitečné statistiky z přístrojů jsou slibné, protože mohou být vodítkem pro odhad nejistých informací a přidat tak jistotu modeláři. V oblasti modelování lidského těla bylo zjištěno, že nejužitečnější jsou antropometrické modelovací systémy. [6]

Pro konstrukci lidského modelu lze použít tři druhy vstupů:

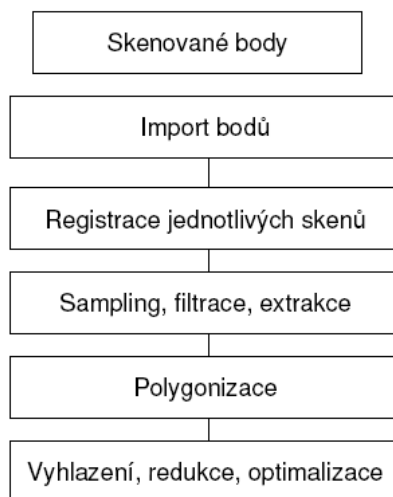
1. mrak bodů z 3D skeneru,
2. velikostní graf,
3. fotografie. [2]

Naskenované data z 3D skeneru poskytují explicitní 3D pozice, z kterých může být model zrekonstruován. Při tvoření modelu objektu z mraku bodů jsou využívány vestavěné funkce a rovněž funkce stavebního procesu povrchu.

Free-form deformace (FFD) je technika podporující systém pro generování obrysu lidského modelu z velikostního grafu. Je použito obrysu NURBS FFD (viz. kapitola plochy). Nový lidský model je deformován ze šablony modelu člověka, předdefinované sémantické (významové) obrysové linie a body na šabloně lidského modelu jsou zachovány i po deformaci.

Třetí metoda zahrnuje výstavbu obrysu lidského modelu ze dvou fotografií lidského těla ve dvou kolmých zobrazení. Zobrazení závislé deformace může rovněž zachovat předdefinované sémantické obrysové linie a body na šabloně lidského modelu. [2]

Obecné zpracování naskenovaných dat z 3D skeneru je graficky znázorněno na Obr. 5. [13]



Obr. 5 - Obecné zpracování neskenovaných dat z 3D skeneru [13]

Za obecný postup rekonstrukce povrchu modelu lidského těla lze považovat metodu použitou v literatuře autora *L. Dekker a spol.*. Další metody rekonstrukce se mohou odlišovat v jednotlivých bodech, podle potřeb modeláře nebo použití pro další práci s modelem.

Metoda probíhá podle následujících kroků:

- 1) rozpoznání základních orientačních bodů,
- 2) segmentace dat do částí těla na vysoké úrovni,
- 3) výpočet střední osy pro každý segment,
- 4) převod každého segmentu do cylindrického souřadného systému,
- 5) rozčlenění dat do p sektorů,
- 6) odstranění nadbytečných bodů v sektorech,
- 7) vyplnění mezer v síti,
- 8) spojení segmentů sítí,
- 9) vyhlazování. [5]

3.1 Předúprava naskenovaných dat lidského těla před procesem

Geometrický tvar lidského modelu je reprezentován mrakem bodů. Vlastnosti modelu lidského těla jsou vypovězeny z tohoto mraku bodů do mraku ve formě funkčního modelu. Hlavní rozměry lidského trupu jsou z funkčního modelu manekýny extrahovány pro následné aplikace, jako je rekonstrukce oděvu. [4] [5]

3.1.1 Zjednodušení vrstvy bodů a vyloučení obrysů - filtrace

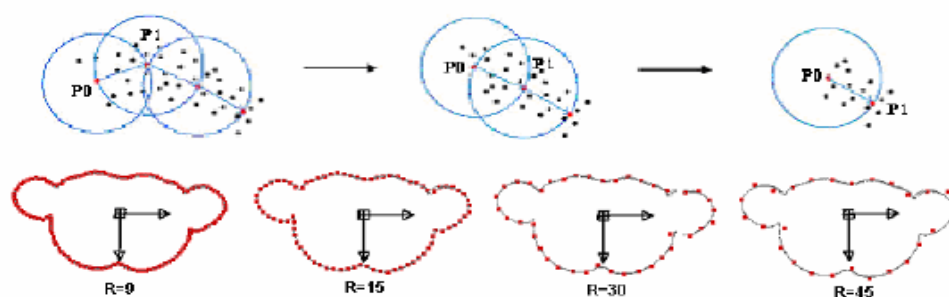
Vzhledem k neorganizovanému a hustému mraku bodů je nutné body zjednodušit a správně uspořádat. Lze použít zjednodušující algoritmy. Jeden takový je nastudován v literatuře autora *Weishu Wei a spol.*, který obsahuje:

- 1) zjednodušení získáním vertikálních vrstev,
- 2) iterační zjednodušení vrstev. [4]

Ve vertikálním směru může být přijat separační systém vrstev. Musí se zajistit zachování klíčových vrstev po celou dobu zpracování.

V horizontálním směru je následován zjednodušující algoritmus. V první řadě jsou body rozděleny do vrstev. Sledují se místa, které jsou považovány za izolované skupiny. Jedna vrstva se udává jako příklad. Libovolný ostrý úhel bodu je brán jako výchozí bod, stejně tak je indikován i výchozí směr. V druhé řadě se nastaví kruhová oblast pro výpočet dráhy bodu po vrstevnici. Ústřední body v kruhové oblasti jsou skladbou bodů (zjednodušené body).

Analyzuje se princip směru v každé kruhové oblasti. Radiální (paprskovitý) směr od středu kruhové hrany je považován za dráhu bodů. Poloměr R je zjednodušující parametr kontrolovaný uživatelem. Vypočítává další skladbu bodů, dokud nejsou všechny ostatní body v této vrstvě zpracovány. Body v dalších vrstvách jsou zpracovány podobným způsobem. Nadbytečné body v každém sektoru jsou odstraněny použitím mediánového filtru s ohledem na radiální vzdálenosti od těžiště segmentu. Znázornění příkladu filtrace je vidět na Obr. 6. Horní řada na obrázku ukazuje proces hledání stopy bodů, dolní řada výsledek obrysu. [4]



Obr. 6 - Zjednodušení vrstvy bodů a vyloučení obrysů

3.1.2 Orientace neskenovaných dat lidského těla

Model je orientovaný na výšku vektoru a na rovinu kolmou k vektoru. Dvě sady parametrů velikosti označují velikost objektu: výšku měřenou od vztažné roviny do výšky vektoru a obvod kolem objektu na rovině rovnoběžné se vztažnou rovinou. [10]

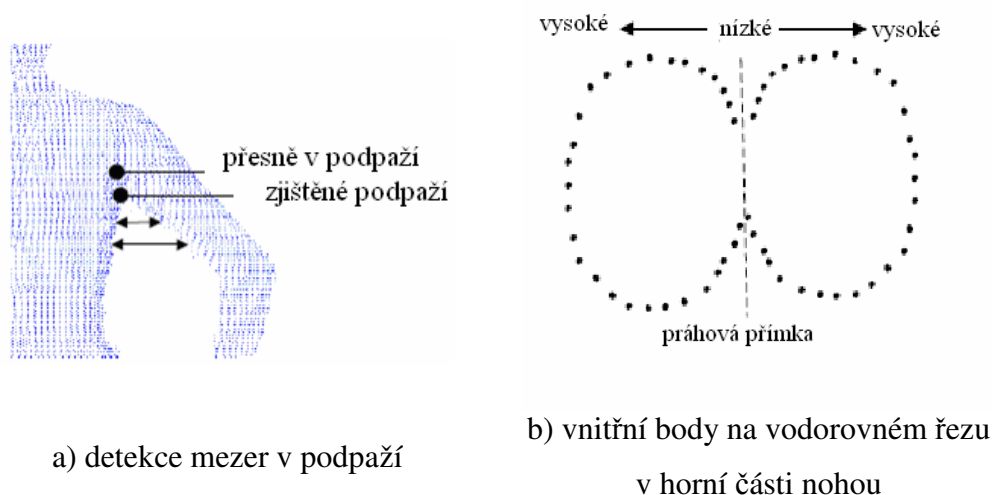
Jinak řečeno, jak je vidět na Obr. 7, data jsou ve společném koordinačním rámu, kde hlavní osou je tělesná výška (y), vedlejší osa odpovídá šířce těla zleva doprava (z) a terciární osa odpovídá hloubce (x). [5]



Obr. 7 - Orientace neskenovaných dat [5]

3.1.3 Detekce vzniklých děr

Průzkum vzdáleností mezi body dat odhaluje zajímavé charakteristiky týkající se hrbolků a přechodů na místech bodů (viz Obr. 8 a)). Užíváním libovolných řezů datových bodů, mohou být spočítány střední vzdálenosti *Euclidovských vzdáleností* každého bodu na všechny ostatní body. Hroty bodů, které vzniknou na nohou v rozkroku a v úrovni podpaží, mají hodnotu nízkou. Hodnota se zvyšuje v bodech na vnější straně těla, od vrcholu (viz Obr. 8 b)). Pokud jsou průměrné hodnoty vzdálenosti vnitřních bodů pro všechny datové body daném plátku zaznamenány ve vzdálenosti podél hlavní osy těla, tak se přechodové body v podpaží a rozkroku objeví jako inflexní body.

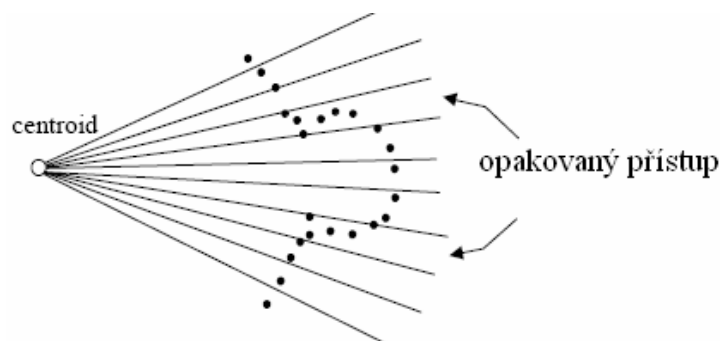


Obr. 8 - Detekce vzniklých děr [5]

Plodnější přístup pro detekci dat by byl **opakovaným přístupem**. Tam kde se data vyskytují na odbočujících bodech a kde je přítomno více částí těla v daném horizontálním řezu. Pokud jsou data v sektoru nesloučených těžišť, lze je zjistit opakovaným přístupem. Prahové hodnoty opakovaného přístupu pak mohou být použity k detekci přechodů v úrovni podpaží (viz Obr. 9).

Pro detekci v úrovni rozkroku je možné využít změn hloubky na trupu. Pokud jsou provedeny odběry vzorků v přibližném centru trupu s ohledem na vedlejší osu (šířka těla), je možné zjistit úroveň rozkroku, kde se trup zužuje do hloubky. Nejnižší bod na trupu může být detekován tak, že se hloubka stane nulou. Tam, kde je dotek nohou pod touto úrovní, není možné zjistit nulovou hloubku bodu. Proto je nutné jako zastavovací kritérium použít práh, který je závislý na odhadu přibližného tvaru předmětu. Toto získáme z funkce, která vezme jako vstup délkové křivky ukázkových sad konvexních obalů kolem trupu a subjektů zjištěných postav. Výstupem je ukazatel typu tvaru. Vysoká hodnota ukazatele udává vysokou prahovou hodnotu zastavení a naopak.

Jakmile byla umístěna přechodová úroveň větveného bodu (vzhledem k hlavní ose), bylo třeba najít vrchol půlením intervalu v horizontální rovině. Použití výpočetně účinné metody pro zjišťování prahu, která je použitelná k oddělení souboru dat lineárně. Použitelná je nejvíce u nohou, kde je geometrie poměrně jednoduchá. Bohužel v podpaží není lineární bisekce dostatečná. [5]



Obr. 9 - Vícenásobná detekce v podpaží [5]

3.2 Funkční model modelu člověka

Základní stavba funkčního modelu manekýny se skládá ze tří kroků:

1. extrahovat hlavní body na mraku bodů,
2. pomocí antropometrických pravidel určit sémantické funkční body,
3. spojit všechny funkce bodů mračna bodů obrysovými křivkami.

Propojené funkční body a obrysy křivek představují funkční drátový model, tj. topologie, která udržuje v souladu všechny zpracované lidské modely. [12]

Funkční model manekýny může být reprezentován třemi strukturami vrstev sítě. První vrstva je **objektivní vrstva**, obsahující objekt a soubor dimenzovaných parametrů.

Druhá vrstva je **funkční vrstva**, skládající se z grafu prvků (drátový model) a jejich spojení. Každá funkce obsahuje řadu vrcholů zaznamenávající geometrii. Tato vrstva zaznamenává topologii konfigurace objektu, kterou lze považovat za hlavní charakteristiku objektu.

Na třetí vrstvě je umístěna **geometrická vrstva**. Každá funkce (část obrysu) na funkční vrstvě se skládá ze souboru ploch (záplat), např. Bézierových záplat řádu 4x4 (viz kapitola 3.4.1). Vrcholy funkce ve funkční vrstvě jsou rohy záplat. Jedna záplata v této vrstvě je příbuzná s každou jinou záplatou a hladce na sebe navazují. [10]

3.2.1 Rekonstrukce a parametrizace první vrstvy modelu člověka

Figurína je ve vzpřímeném držení těla. Celé rekonstrukční schéma se skládá z řady kroků:

1. eliminovat shluk a upravit model ve správný koordinovaný jednotný formát,
2. najít funkční body na povrchu modelu těla a model izolovat do částí segmentu,
3. zjednodušit model mraku bodů zjednodušujícím algoritmem a sestavit model trojúhelníkové sítě,
4. vytvořit individuální údaje (podle opatřené databáze).

Různé modely jsou konstruovány podle získaných různě zjednodušených hustot mraku bodů. Výsledný model postavený podle výše uvedených kroků je používán jako šablona pro parametrizaci. [4]

Další šablony je možno získat pomocí procesu *funkce rozpoznávání*. Proces je proveden porovnáváním obecného parametrického rysu modelu figuríny s mračnem bodů.

Tato funkce rozpoznávacího algoritmu pro mračno bodů může být rozdělena do čtyř hlavních úkolů:

- 1) vytvoření obecného rysu modelu figuríny,
- 2) vyrovnaní obecného rysu modelu s mračnem bodů,
- 3) oddělení mračna bodů,
- 4) montáž obecného obrysu modelu mračna bodů. [10]

3.3 Stavba drátového (sítě) modelu

Důležité je vytvořit funkční vrstvu a rozdělit ji tak, aby výchozí vrstva tvořila tzv. drátový model. Úkolem zjištění funkčních vrstev (obsahují funkční body) je, aby se rozmístil mrak bodů a získali se klíčové rozměry manekýn. Jsou důležité při následujícím procesu parametrizace. Kromě toho, funkční vrstvy jsou korelovány do výšky a obvodu v rekonstrukci oděvu. Funkční body na povrchu modelu zahrnují krční bod, body podpaží, prsní body, podprsní body, bod pupíku, bod rozkroku, atd. Funkční body na povrchu těla lze rozdělit do dvou skupin: (1) hlavní funkční body a (2) další funkční (sémantické) body. Všechny funkční body je možné získat dříve, než se ztratí ve zjednodušeném mraku bodů. [4]

3.3.1 Hlavní funkční body

Hlavní funkční body na povrchu těla, včetně bodů v podpaží, bodu v rozkroku, bod v pupíku, přední krční bod, zadní krční bod a prsní body, musí být získány jako první. Použitím některých rovin tak, aby protínaly neorganizované body 3D naskenovaného lidského těla nebo získat tak 2D konturu vyčnívajícími body na některých rovinách.

Pro určení bodů lze použít pojmu *fuzzy logika*, tj. extrakční algoritmus popsany v literatuře autora *Charlie C.L. Wang*. [12]

Další použitelnou metodou pro nalezení funkčních bodů je početní *algoritmus Dekker*, který je využit a přesněji zobrazen v literatuře autora *Weishu Wei a spol.* Algoritmus, ve vyprojektovaném mračnu bodů v rovině, spočítá průměrné vzdálenosti bodů na určité zjištěné vrstvě větvených bodů. Téměř 80% funkčních bodů je z mračna bodů využito. Zbytek funkčních bodů, které nebyly nalezeny, jsou vyznačeny ručně. [4]

3.3.2 Sémantické funkční body

Umístění sémantických funkčních bodů na povrchu naskenovaného lidského těla mohou být zhruba určeny pomocí antropometrických pravidel z hlavních funkčních bodů. Pro přesnou lokalizaci může být použit extrakční algoritmus fuzzy logika. Podobný přístup je odhalování sémantických bodů řezáním a průmětem pomocí rovin v hlavních funkčních bodech. [7]

Zobrazení funkčních bodů a sémantických bodů je vidět na Obr. 10 a).

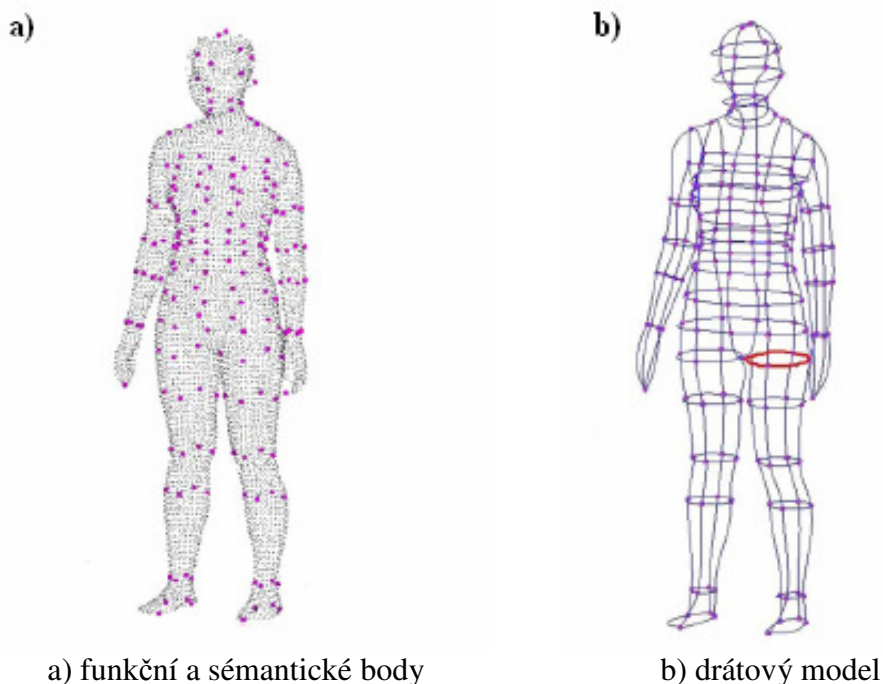
3.3.3 Drátová konstrukce

Pro konstrukci drátového modelu se musí body propojit parametrickými křivkami. Křivky by měly procházet funkčními body a přiblížit se tvaru naskenovaného lidského těla.

V implementaci, v literatuře autora *Charlie C.L. Wang* je využíváno parametrických Beziérových křivek čtvrtého řádu. Každá křivka má 4 kontrolní body. První a poslední kontrolní bod je shodný s funkčními body, prostřední dva kontrolní body lze nastavit tak, aby tvar křivky kopíroval naskenovaný tvar těla. Každá obrysová křivka leží v rovině určené antropometrickými pravidly. Po zjištění všech funkčních

křivek, je funkční kostra vyhlazena nastavením kontrolních bodů. Sousedící koplanární (tečné) křivky mají G^1 kontinuitu.

Funkční drátový model, který je vidět na Obr. 10 b), je shodný pro všechny lidské modely. Topologické grafy spojených funkčních křivek v plochu subjektu jsou rovněž ve shodě se všemi lidskými modely. Tato topologie grafu je výchozím bodem vygenerování obrysu záplat interpolací funkční kostry. [12]

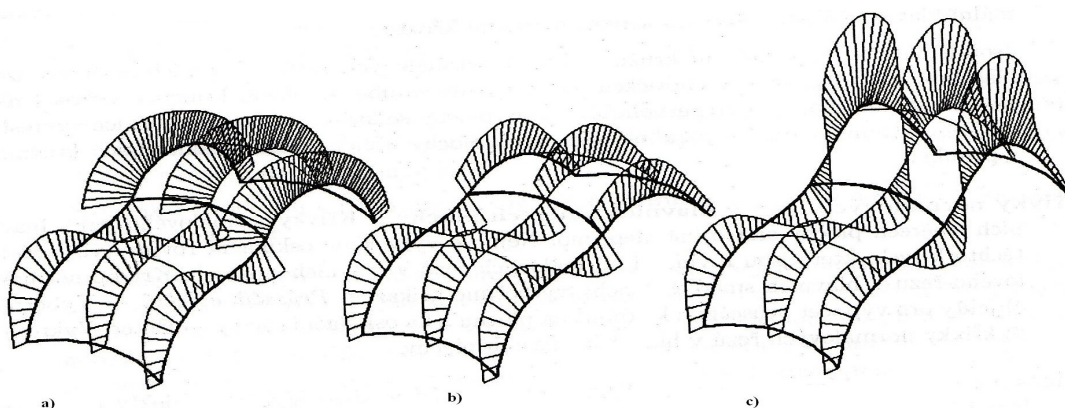


Obr. 10 - Stavba drátového modelu [12]

3.3.4 Křivky

Křivky jsou definovány soustavou parametrů dané rovnice. V prostoru je lze popsat *explicitně*, *implicitně* a *parametricky*. Sleduje se u nich několik důležitých vlastností: hladkost, spojitost, struktura a počet řídicích bodů a stupeň křivky.

Spojitost křivek a plátů je zobrazena na Obr. 11. Když je spojitost (kontinuita) C^0 , grafy křivosti v jednotlivých plátech na sebe navenazují. V G^2 spojitosti na sebe grafy křivosti hladce navenazují.



Obr. 11 - Diagnostika spojitosti napojení dvou plátů pomocí grafu křivosti parametrických křivek, a) C^0 , b) G^1 , c) G^2 [24]

Mezi nejjednodušší vyjádření patří explicitní tvar křivky. Křivka má tvar $y=f(x)$ a je orientována ve směru rostoucího x . Konstrukčně vypadá jako lomená čára složená z úseček. Křivka zadaná implicitně má tvar $F(x,y)=0$. Není vhodné ji použít v počítačové grafice, protože neumožňuje postupný výpočet křivky. V počítačové grafice je nejvhodnější zadání křivky parametrické $x=x(t)$, $y=y(t)$ (vektorově $P(t)=[x(t);y(t)]$). Jsou závislé pouze na jediném parametru. V některých případech však parametrické zadání nezaručuje rovnoměrnost šíření bodů na křivce, např. jako u Beziéra.

V teorii křivek jsou základním prvkem polynomiální křivky ve tvaru $P_n(t)=a_0+a_1t+\dots+a_nt^n$. Křivky třetího stupně, tzv. kubiky, patří k nejpoužívanějším. Jsou schopné popsat nekonečný výčet tvarů, snadno se s nimi manipuluje a je u nich možné zaručit spojitost.

Pro vytvoření křivky z řídicích bodů se používají dvě metody a to interpolace a aproximace. Při interpolaci křivka zadanými body prochází, ale u aproximace je křivka body pouze řízena, nemusí jimi procházet. [24]

3.3.5 Parametrizace drátového modelu

Na základě parametrizace modelu člověka je snadné získat dimenzovaný rozměr prostřednictvím funkční křivky.

Parametrizace má dvě fáze:

- 1) zápis funkcí drátového modelu založeného na funkci extrakční techniky (uvažované objekty jsou stejné třídy, takže je použita sémantická funkce extrakční techniky),

2) modelování ploch podle funkce drátového modelu a mraku bodů. [12]

Po zadání parametrů pro vytvoření nového dimenzovaného lidského modelu, vypočítá syntezátor hmotnostní koeficient pro interpolaci. Interpolací podle váhy se získá parametricky navržený model.

Po vytvoření databáze mohou být postaveny nové modely v závislosti na vstupních hodnotách parametrů uživatele. [12]

3.4 Modelování povrchu těla

Funkčně založené lidské modely jsou základem pro vývoj automatizačních rekonstrukčních technik oblečení na zakázku. Funkce získané z lidského modelu jsou velkým přínosem databázím v módním průmyslu. Křivky a body jsou využívány jako sémantické rysy, ale v novějších vývojích je zjištěno, že funkční křivky a body už nejsou dostatečné pro modelování 3D digitálního oděvu kolem lidského modelu. Záplaty jsou skutečně potřebné. [12]

Lidské tělo je složeno převážně z hladkých povrchů s body nespojitosti, například hrbolky v podpaží a zadeček. Hodně částí těla má přibližně eliptický průřez (např. polovina trupu, hlavy ruce a nohy), ale s různou mírou zakřivení. Jemnější detaily jsou přítomné na tváři a prstech. Není vhodné rekonstruovat například každý prst individuálně, ale zacházet s rukou jako jedním celkem. Mělo by být možné zachovat detaily jakou jsou okraje oděvu oproti tělu.

Je možné okamžitě vypustit jednoduché konstruktivní formy, jako jsou všeobecné válce, protože nereprezentují flexibilitu povrchu definovaného typu těla dostatečně kompaktním způsobem. Zaměřuje se na síť polygonů a parametrické plochy. Bylo vyvinuto několik metod pro účel rekonstrukce povrchu. I ty mají omezené prostředky odvozovat původní chování povrchu tam, kde jsou data rozptýlené nebo chybí. [5]

Dvě hlavní rekonstrukce povrchu. První z nich je **povrchová rekonstrukce**, která pochází z odebraných vzorků bodového mračna z uzavřeného povrchu nebo povrchu odpovídajícího grafu funkce.

Existují dva typy povrchové rekonstrukce. První z nich je založen na *matematickém modelování obecné funkce polynomického typu*. Funkce nejsou nutně reprezentativní. Za účelem určení funkce je nutné znát hodně bodů. Pokud jich není mnoho, výběr vhodných funkcí se stává libovolný. Druhý způsob rekonstrukce povrchu

tvoří *generování trojúhelníků z bodového mračka*. Je to nerychlejší způsob, kdy jsou body řízeny převzatým měřením.

Druhým přístupem je rekonstrukce známá jako **objemová rekonstrukce**. Cílem je v tomto případě vygenerovat mnohostěny (obecně čtyřstěny) rekonstrukcí objemu. V literatuře autora *Florence Dorval a spol.* se použilo metody skládající se z vyřezávání konvexního obalu s dosažením všech hraničních bodů. Tato metoda je založena na *Delaunayeho triangulaci*. Triangulace není rekonstrukcí. Musí se změřit konvexní objem včetně bodů. Ale jen některé body budou umístěny na kraj konvexního obalu, ostatní jsou umístěny uvnitř. [3]

3.4.1 Plochy

Základním nástrojem pro tvorbu ploch jsou různé typy křivek. Pro definici ploch mohou být použity matematické křivky generované pomocí parametrických rovnic. Samostatnou kategorii pak představují již popsané volné plochy vytvářené pomocí spline křivek. Při tvorbě ploch využíváme několik základních konstrukčních prvků, které jsou společné pro všechny typy ploch:

Drát je všeobecný pojem odkazující na úsečky, oblouky, kružnice, elipsy, 2D a 3D křivky, orientované čáry a spline. Všechny tyto objekty mohou být použity pro vytváření základního drátového modelu, který je následně pokryt plochou.

U, V čáry je množina drátů popisující geometrii vytvářené plochy ve dvou základních směrech. Všechny plochy mohou být zobrazeny v režimu drátového modelu se směrovými U a V čarami.

Normála plochy je krátká úsečka kolmá na plochu nebo tečnou rovinu, která ukazuje počátek a směr plochy. Normály ploch jsou využívány především při definici tolerancí navazujících ploch, jejich vyhodnocování a následných činnostech spojených například s výpočtem vizualizace. Na základě směru normál ploch se odvozují orientované čáry z hran ploch.

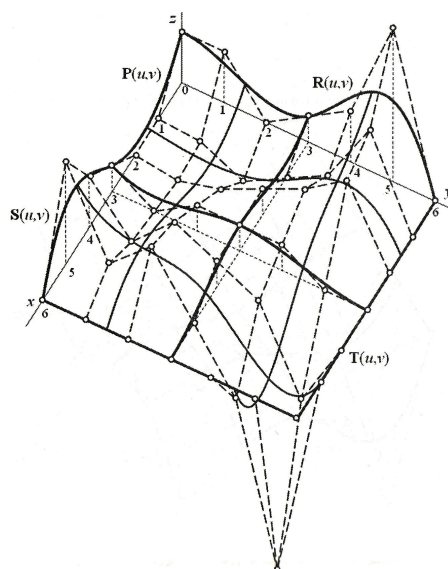
Orientovaná čára je křivkou s vektorem normály v každém vrcholu. Slouží k tvorbě ploch nebo z nich může být přímo odvozena. Umožňuje ovlivňovat a sledovat zakřivení ploch.

Vektory orientovaných čar popisují směr normály plochy v každém vrcholu orientované čáry. V praxi je velmi obtížné u složitých tvarů použít pouze jediné plochy, proto je nutné plochy vzájemně spojovat. Spojení ploch znamená nejen vytvoření

společné hraniční křivky, ale často musí být doplněno detailním rozbořem vzájemné tečnosti sousedních ploch. Prakticky nesmí být narušena hladkost ploch a pláty musí tvořit kompaktní celek. Této metodě říkáme **plátování ploch**, tzv. patch (záplata). [24] [26]

Bézierovy plochy

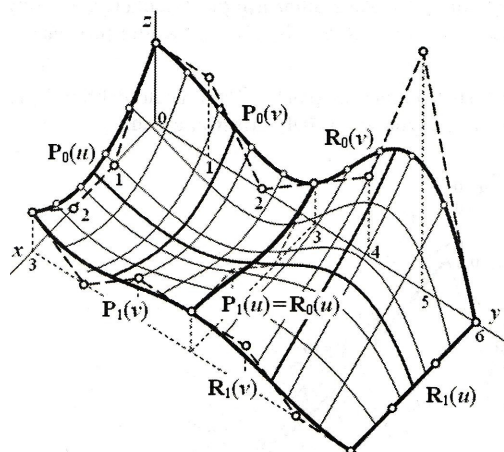
Modelovaná aproximační Bézierova plocha (viz Obr.12) zadaná prostorovou čtyřúhelníkovou sítí prochází pouze rohovými vrcholy sítě. Okrajové křivky sítě se v rozích dotýkají rohových stran sítě. Změnou polohy vrcholů se může měnit tvar plochy v jejich okolí. Plochy jsou snadno napojitelné a je u nich možné zaručit hladké napojování. [26]



Obr. 12 - Bézierovy plochy [24]

Coonsovy plochy

Coonsovy plochy (viz Obr. 13) patří v technické praxi k nejpoužívanějším. Jejich řídící polygony nejsou tak názorné jako u Bézierovy plochy. Největší výhoda Coonsových ploch je v jejich napojování. U spojované plochy lze dosáhnout hladkosti druhého stupně, je tedy hladší než spojovaná plocha z Bézierových ploch. Coonsova plocha definovaná okrajem je definována čtyřmi křivkami, které tvoří její uzavřenou hranici. [26]



Obr. 13 - Coonsovy plochy [24]

NURBS plochy

NURBS plochy jsou zobecněním B-spline ploch. Jsou definovány pomocí řídicí sítě (kontrolní body), stupňů v daných proměnných, vektorů parametrizace a váhou vrcholů. Jsou poměrně složitě matematicky popsány. Dokáží popsat široké množství typů ploch. Mají jednotné algoritmy, výpočetní procedury pro řešení např. množinových operací, průsečíků se světelnými paprsky atd. Nepodléhají všem transformacím a projekcím. Dnes patří k průmyslovému standardu v geometrickém modelování. [24] [26]

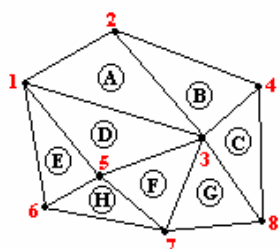
3.4.2 Sít'ové modely

Existují dva základní typy sít'ových modelů – radiální a cyklický. V radiálním modelu se dá vždy určit směr po proudu a proti proudu. V cyklickém modelu se objevují smyčky.

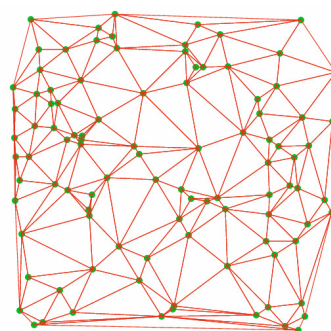
Sítě jsou reprezentovány pomocí bodů (průsečíky) a úseček. Každá takováto entita má v sobě další data závislé na oblasti modelování. To může být průtok, směr toku, relace s dalšími entitami atd..

Nejpoužívanější je **trojúhelníková síť** (viz Obr. 14). Označuje se také jako TIN model (triangular irregular network). Umožňuje práci s 3D prostředím. Povrch je zde reprezentován souvislými nepřekrývajícími se trojúhelníkovými elementy. Ty jsou vytvořeny ze souboru velkého počtu bodů se souřadnicemi x, y a z . Hustota a velikost trojúhelníků mohou být upraveny, aby odrážely tvar modelovaného povrchu (neboli více bodů v místech výškově rozmanitých, zatímco v rozsáhlejších plošinách stačí bodů

méně). Povrchy jsou často vytvářeny s pomocí metody Delaunayovy triangulace (viz Obr. 15). [25]



Obr. 14 - Trojúhelníková síť [25]

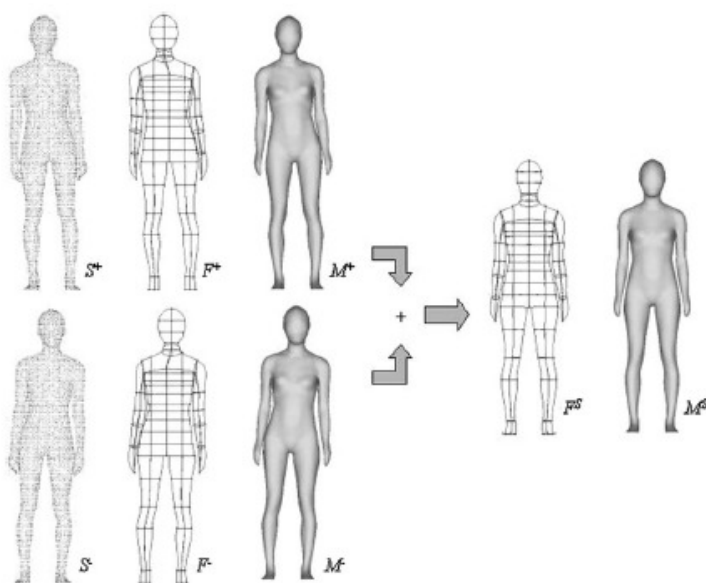


Obr.15 - Delaunayova triangulace [25]

3.5 Symetrizace modelu těla

Lidské tělo vytvořené z naskenovaných dat je obvykle asymetrické. Když je lidský model vytvořen pro zjišťování velikosti, je pro výrobu požadován symetrický model.

Jednoduchou metodou použitou v literatuře autora *Charlie C.L. Wang* je **metoda zrcadlení** naskenovaného mraku bodů a vytvořeného drátového modelu pomocí původních bodů (původní bod v rozkroku a jeden z uzlů drátového modelu) na modelu. Použitím interpolace povrchu a zdokonalovacího algoritmu na zrcadlové kopie, je získán rafinovaný povrch sítě ozrcadleného modelu těla. Symetrický model povrchu je získán interpolací vytvořeného modelu a ozrcadleného modelu (viz Obr. 16). [12]

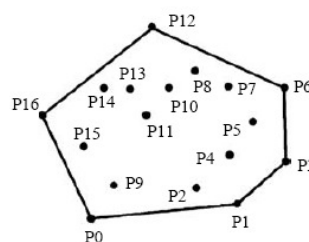
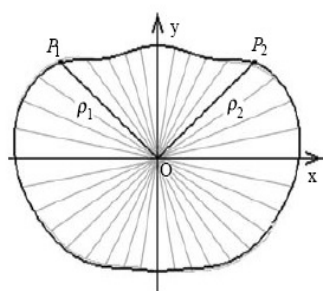


Obr.16 - Symetrizace metodou zrcadlení [12]

Další z možností symetrizace je *předzpracování každého průřezu dat*. Postup metody je následující:

- 1) vytržít data bodů, aby odpovídaly potřebám B-spline interpolace,
- 2) napojit horizontální B-spline křivku podél průřezu bodů, a vypočítat střed O ohraničení pravoúhelníku křivky,
- 3) převzorkovat každý jednotlivý hranatý průřez se středem v bodě O a přeuspořádat vzorkové sekvence,
- 4) symetrizace bodů s osou y jako osou symetrie, aby se zajistilo $\rho_1 = \rho_2$ za účelem získat symetrický trup modelu pro 3D CAD oděvní systém (viz Obr. 17 a)),
- 5) opakuje se krok 1 a krok 2 k získání nových vzorků a znovu středu průřezu proto, že střed O se změnil po provedení kroku 3,
- 6) vypočítat konvexní trup každého bodu průřezu pro vytvoření oděvu 3D modelu těla (viz Obr. 17 b)). Konvexní trup je metoda použitá pro účely napodobení fyzického měření obvodu poprsí generace manekýn, jakož i ke zjednodušení složitosti povrchu těla.
- 7) Vytvoří se síť křivek trupu z bodů matice po předzpracování a vypočítání kontrolních bodů sítě, pak zrekonstruovat trup pomocí B-spline ploch. Při prvním spuštění se každý řádek dat z matice vykreslí pomocí B-spline křivky a ten samý výsledek procesu je u sloupců dat matice. B-spline plocha byla vygenerována na základě 3D sítě křivek.[1]

O je středem ohraničujícího obdélníka; P_1, P_2 jsou výběrovými body průřezu; ρ_1 je vzdálenost mezi středem O a P_1 , ρ_2 je vzdálenost mezi středem O a P_2 . [1]



a) předzpracování každého průřezu dat b) příklad výpočtu konvexního obalu

Obr. 17 - Symetrizace předzpracováním každého průřezu dat [1]

3.6 Validace modelu těla pomocí volumetrie

Z reprezentace povrchu je možné vypočítat celo-tělesné měření, jako je objem a povrch plochy. To může být použito v medicíně ke stanovení složení těla (štíhlostní a tukové procenta), což je používáno k diagnostice a sledování výživy, k předepsání léků a designu vhodné stravy.

Pravidelné maticové struktury obou částí deformované obdélníkové sítě a B-spline plochy umožňují vypočítat objemy a plochy pro každý plátek zvlášť, pak integrováním získat celkové měření. Celkový objem polygonální sítě může být stanoven součtem každé čtyřúhelníkové plochy, pokud je považován za těžiště plátku *klínu sýra*. Objem klínu se poté vypočítá jako obecný trojúhelník umístěného podél hlavní osy části těla. [5]

3.7 Parametrické navrhování modelu člověka

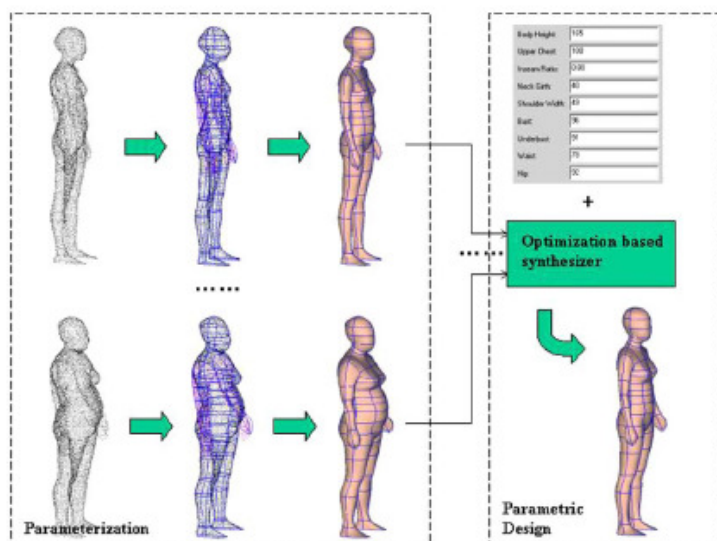
Je vytvořen algoritmus numerické optimalizační syntézy. Tato syntéza je založená na příkladech modelů lidského těla. Parametrizace je nezbytným krokem pro vývoj automatického systému designu oděvních výrobků. [12]

Parametrizace lidského těla může být provedena:

Metodou point-to-point (bod k bodu)

V metodě point-to-point odpovídá soubor ploch lidského těla celkové struktuře. Tento druh bod k bodu mapování nám poskytuje možnost kódovat vztah mezi oděvem a lidským tělem. Tím, že udržuje podobný vztah, může být oděv kolem těla automaticky vygenerován.

Po vytvoření databáze mohou být postaveny nové modely v závislosti na vstupních hodnotách parametrů uživatele. To vede k problémům jak vybrat příklad modelu a jak model syntetizovat (uměle vyrobit). Řešení je probíráno v literatuře autora *Charlie C.L. Wang*, kde se vybrala čísla z nejbližších příkladů modelů v dané velikosti a pak je numericky optimalizovala. Optimalizované hodnoty jsou použity pro výpočet hmotnostního koeficientu pro syntetizaci příkladu modelu. Požadovaný model je vytvořen interpolací příkladu modelu s optimalizovanou hmotností. Tomu se říká parametrická rekonstrukce lidského těla, Obr. 18. [12]



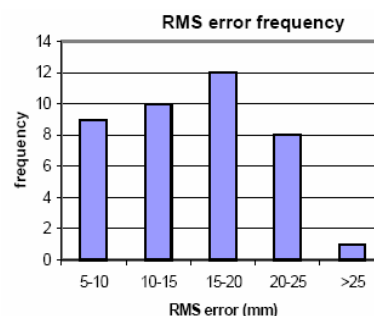
Obr. 18 - Parametrizace pomocí metody Point-To-Point [12]

Metoda horolezeckého algoritmu

Závislosti existují mezi mnoha určujícími body, a když je pokus o parametrizaci subjektu, vede to ke kombinatorické explozi. V těchto případech morfického vyhledávání se používá metody horolezeckého algoritmu se strategií dynamického kódování. To má redukovat zkreslení uloženého statického kódování vyhledávaného prostoru. To vyžaduje minimální nastavení parametrů.

Cílem funkce je jednoduchý nepoměr množství. Jako vstupní soubor jsou brány tréninkové data, tj. označené funkční body a automaticky vygenerované obrysy měřených délek pomocí bodů. Cílovou hodnotou je RMS chyba mezi ručním referenčním měřením a automatickým tréninkovým souborem .[5]

Measurements, by body segment	RMS error (mm)
whole body	12.29
neck and shoulders	16.19
upper torso	18.14
lower torso	14.46
legs	11.93
arms	11.92



a)

b)

Obr. 19 - Výsledek automatizované antropometrie [5]

Obr. 19 a) ukazuje výsledek RMS chyb vzniklých rozdílem hodnot ručního referenčního měření a automatického tréninkového souboru dat. Graf na obr. 19 b) znázorňuje závislost frekvence na rozmezí hodnot vzniklých RMS chyb. [5]

Parametrizace pomocí syntezeátorů

Dva různé typy syntezeátorů:

- 1) modelovací syntezeátory, které vytváří novou geometrii subjektu pomocí tělesných rozměrů jako vstupních parametrů;
- 2) modifikační syntezeátory, které manipulují se stávajícími modely.

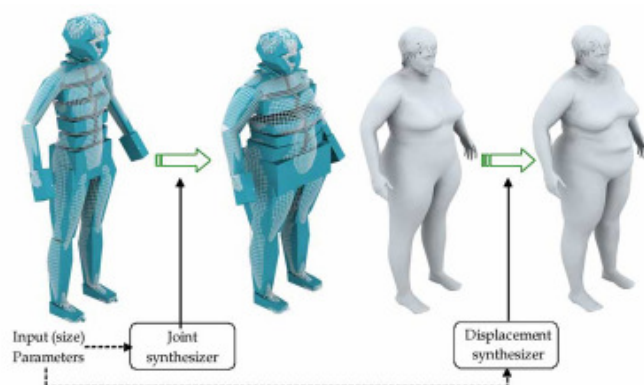
Účelem modifikace syntezeátoru je získat variaci geometrie těla podle určitých tělesných vlastností při zachování co nejvyššího rozlišení individuální způsobilosti. Jakmile jsou syntezeátory vyrobeny, je jednodušší vytvořit nové tvary řídicí se parametry, které pochází z požadované deformace referenčního modelu.

Základní myšlenkou je použití sady předvybraných bodů nebo funkčních bodů pro měření přesnosti vybavení a prostorové uspořádání pomocí optimalizace. Jsou dvě hlavní fáze algoritmu: *rekonstrukce kostry* a *jemné zdokonalování*. Rekonstrukce kostry lineární aproximací (držení těla a proporce) neskenovaného modelu odpovídá šabloně modelu.

Je vybráno 8 antropometrických měření pro dimenzování parametrů. Takováto malá měřicí souprava poskytuje kompaktnost parametrů na geometrii těla. Umožňuje snadnou aplikaci v on-line obchodu s oblečením, kde se zeptá uživatele na jeho/její vstupní míry pro vlastní design oděvu. Byla zde přijata *metrika HWR* (obvod boků dělený obvodem pasu) a *metrika procenta tuku*, jako tvar parametru modifikace syntezeátoru.

Syntezeátor stavíme pro každou složku vektoru těla prostřednictvím interpolace. Tyto syntezeátory umožňují *runtime* (běhové) hodnocení tvaru z daných vstupních parametrů. Syntezeátory jsou rozděleny na dva druhy: *kloubové syntezeátory* zvládnou každý stupeň volnosti spojů, kdežto *krokové syntezeátory* jsou použity k nalezení vhodného přemístění na šabloně kůže, od vstupních parametrů.

Hledá se interpolace, která mění parametr místa na místo geometrie těla na příkladech. Každému příkladu bude přiděleno místo v prostorové dimenzi. Cílem je vyrábět v každém bodě v prostorové dimenzi nové deformace šablony modelu odvozené prostřednictvím interpolace příkladů tvarů. Mezi příklady tvarů by mělo docházet k hladkým změnám. Parametrizace pomocí syntezeátorů je zobrazena na Obr. 20. [6]



Obr. 20 - Parametrizace pomocí kloubového a přemísťujícího syntezátoru [6]

3.8 Rozvinování

K rozvinutí pravidelně nebo nepravidelně zakřivené plochy slouží mnoho aplikací. **Metodu energie**, lze rozdělit do dvou hlavních proudů v závislosti na zvolené metodě: vývoj na základě uzlů a vývoj na základě sítě. [11]

Rozvinutí na základě uzlů

Předpokladem je, že síť je pružná a neformovatelná. Pokud textilie prošla analýzou zakřivení plochy a bylo zjištěno, že Gaussova křivost je všude nulová, tak nemůže dokonale sedět na 3D zakřivený povrch. Nicméně, jestliže Gaussovo zakřivení je pozitivní, při zploštění bude docházet k překrývání povrchu, který bude možno rozdělit pomocí obrysových čar pro dokonalou montáž. Pokud je Gaussovo zakřivení záporné, bylo by nedostatek tkaniny po vyrovnání. [11]

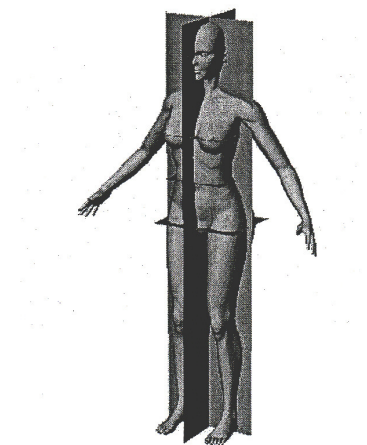
Rozvinutí založené na síti

V síťovém zploštění se nepřekrývá a produkuje mnoho malých kousků sítě. Technika zarovnávání mezer mezi sítí se soustředila na výstavbě mezery kolektivně. Ačkoliv to způsobuje deformaci koncentrace geometrického obrysu, zachovala zarovnávací technika celkové oblasti po zploštění a je velmi vhodná ke zploštění vzoru oděvu. [11]

4. Aplikace zpracovaných dat v konstrukci oděvu

4.1 Analýza počítačového modelu těla

Sít' pomocných čar a ploch je vytvořena s cílem rozdělit počítačem vytvořený model těla do částí, jako jsou příčné řezy rovinami v oblasti obvodu hrudníku, obvod pasu a boků. Stejně tak je model rozříznutý pomocí roviny vedené centrální osou těla, která rozděluje model do dvou zcela symetrických polovin. Ta také zajišťuje symetrii řezů oděvu v následujících fázích. Model je také rozříznutý pomocí roviny, která ho rozděluje na přední a zadní část. Vedle již zmíněných rovin jsou pro vytvoření papírového modelu oděvu důležité rozvinutelné sítě pomocných křivek. Postup určují zejména výchozí body pro vytvoření kontury jednotlivých částí budoucích 3D dělených částí. Řezáním povrchu pomocí rovin 3D konstruovaného děleného oděvu je minimalizována plocha na navržení poloviny přední a zadní části šatů. Postup lze aplikovat na model těla bez deformace vedoucí k tělesné asymetrii. Je důležité znát deformace těla. Zvolený model by měl mít normální držení těla. Rozdělení lidského modelu těla rovinami je vidět na Obr. 21. [7]



Obr. 21 - Rozdělení lidského modelu těla rovinami [7]

4.2 3D vizualizace oděvu na virtuální model těla

Vyvinuté metody a systémů pro 3D vizualizaci oděvu na virtuální model těla jsou většinou založeny na třech přístupech.

První zahrnuje rozvíjení různých metod pro počítačově založené 3D modelování oděvu, v rámci vývoje jednotlivých CAD systémů. Metody zahrnují stanovení fyzikálně-mechanické vlastnosti použitých látek, zatímco vizualizace oděvu se získá pomocí parametrů pokrytí oděvu na 2D řezy vzorů nejprve navrženého pomocí počítačové simulace částí modelu oděvu vyrobeného z materiálu odlišných vlastností.

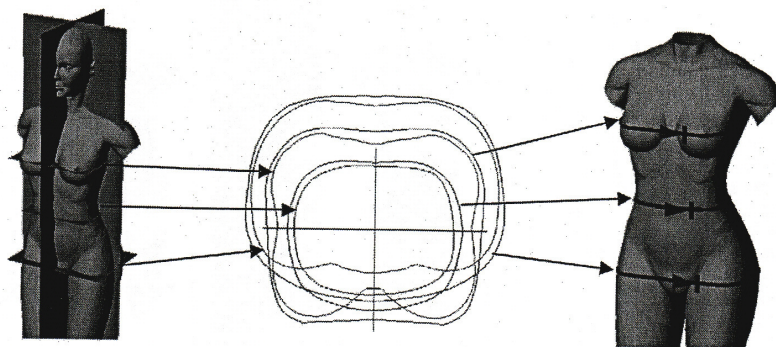
Druhý přístup se snaží najít řešení problému výstavbou řezů oděvu ve virtuálním prostředí na počítačově vytvořeném modelu těla. Metody a systémy vyvinuté v mezích tohoto přístupu jsou většinou používány při projektování modelů oděvů z elastických tkanin přiléhajících těsně k tělu. Plochy simulující 3D dělené části byly tvarovány, proto na ně musí být znovu použity fyzikálně-mechanické vlastnosti textilií.

Třetí přístup se vyznačuje tím, že základní dělení je postaveno na počítačem vytvořeném modelu těla ve virtuálním prostředí, jako alternativa nekonvenčního rozvoje papírového stříhu modelu oděvu otestovaného na krejčovské figuríně. Přístup je možné použít na vyvinutý model z 3D souboru bodů nebo mrak bodů, který je výsledkem záznamu osoby za použití 3D skeneru těla, a nebo na hotový model z databáze programu.

Transformace 3D dělení, tj. rozdělení 3D do 2D díly vzorů, se provádí pomocí matematických modelů vyvinutých pro tento účel na počítačové platformě. Tvar vzoru 2D dělení odpovídá charakteristice modelu, podle kterého byl původně konstruován. [7]

4.2.1 Škálování

Škálování (změna měřítka) je ve třech dimenzích, tj. změna závislá na snížení komfortu zaměřeného na přibývajících uzavřené křivky stanovené průřezem hrudníku, obvodu pasu a boků. Částečná změna tvaru těchto křivek vyústila v nové pomocné křivky, které definují tvar a obvod šatů v oblasti řezu hrudníku, pasu a obvodu boků (viz Obr. 22). Křivka kolem obvodu boků určuje obvod konečné délky šatů, tj. šaty se prodlouží přímo z boků na délku šatů. [7]

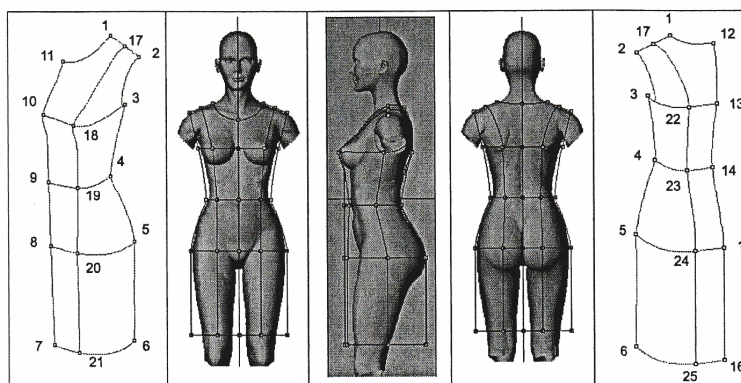


Obr. 22 - Řez v obvodu hrudníku, pasu a boků [7]

4.2.2 Určení polohy hlavních bodů a tvarování částí kontury 3D dámských šatů

Konstrukce a tvarování křivek, které definují obrysové části budoucích 3D dělených vzorů je stále nedostatečná (viz Obr. 23), aby forma plochy byla přibližná dělení virtuálního oděvu. Z hlediska počítačové grafiky by měly být respektována určitá pravidla při konstrukci a tvarování sítě křivek, které budou použity pro formování povrchu. Také je nezbytné získat podobu povrchu, který bude co nejlépe simulovat reálný vzhled oděvu na počítačem vytvořeném modelu těla. Odpovídající komfort by měl být zajištěn ve všech částech řezu, který je složitější stavbou a tvarováním křivek u jednotlivých částí. Z tohoto důvodu je nutné postavit model řad příčných a horizontálních křivek, v rámci již dříve vytvořené sítě křivek, které definují řeznou konturu částí vzoru.

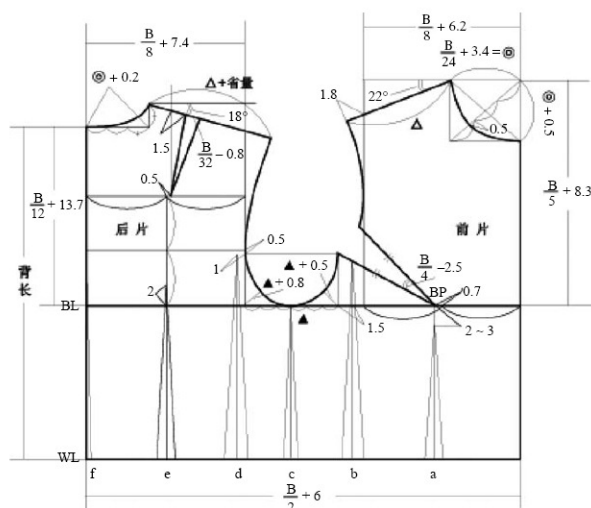
V dalším kroku se vytvoří povrch určité hustoty, která závisí na řadě dalších faktorů. Je vhodné použít nižší plošnou hmotnost, protože zkracuje čas potřebný k výpočtu simulace. [7]



Obr. 23 - Sít' virtuálních šatů [7]

4.2.3 Konstrukce drátového modelu na 3D prototyp oděvu

Zde je popsán postup z literatury autorů *Yang Yunchu a Zhang Weiyuan*. Prototyp vyvinutý japonskou univerzitou žen Bunka, metodika *Nakamichi Tomoko*, je poměrně komplexní teorie a použitelná v praxi, převládá v Číně i Japonsku. Jejich nový prototyp oděvu, jak je znázorněno na Obr. 24, je založen na obvodu poprsí a délce zad. Další podrobná měření prototypu jsou vypočteny regresními vzorci z každého z nich.

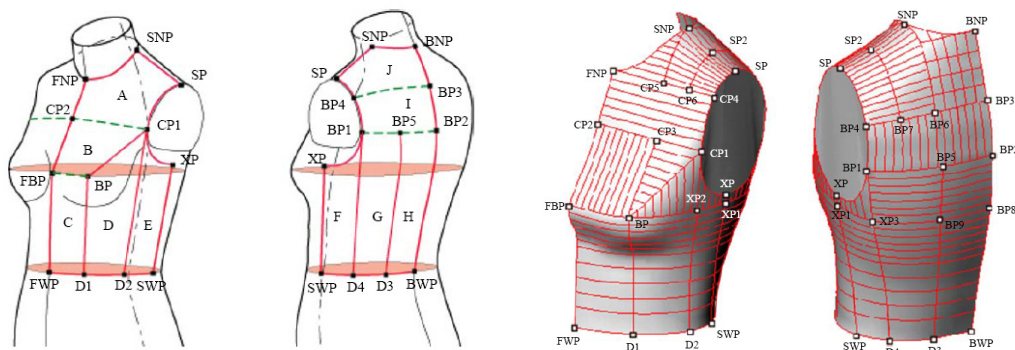


Obr. 24 - Prototyp oděvu Nakamichi Tomoko [1]

S cílem připravit osobní prototyp, se definovala sada funkčních bodů na 3D modelu s ohledem na nový oděv (Nakamichi Tomoko) prototypu. Tímto způsobem mohou jednotlivé prototypy přesněji odrážet 3D tvar lidského těla, proto je možné dostat podrobně měřený prototyp přímo z 3D modelu.

Tyto funkční body jsou na figuríně nastaveny ručně pomocí 3D kurzoru. Funkční čáry mohou být vytvořené pomocí výpočtu průsečíků křivek povrchu těla a místních rovin, které jsou postaveny podle souřadnic a normálových vektorů odpovídajících funkčních bodů. Průsečíky mezi NURBS algoritmy povrchu a ploch se provádí prostřednictvím několika 3D grafických softwarů.

Na základě funkčních bodů na struktuře 3D figuríny, byla pravá polovina povrchu živůtku rozdělena do deseti zón. Přední část je včetně pěti zón (A, B, C, D, E) a na zadní včetně dalších pěti zón (F, G, H, I, J), jak je znázorněno na obrázku 7. Pro rozvinutí do 2D řezů je třeba povrch deseti zón ještě rozdělit. Dělení je vidět na Obr. 25. [1]



Obr. 25 - Dělení do zón (vlevo) a dělení jednotlivých zón (vpravo) [1]

4.3 Optimalizace padnutí přiléhavého oděvu

V mechanickém chování tkanin se rozlišují dva směry. První z nich je zaměřen na překrývání tkaniny a druhý na deformačním chování materiálu při pokrývání deformované plochy. Tato aplikace vyžaduje tkaniny téměř bez vrásnění, jako je přiléhavý oděv.

S pomocí výkonného software vytvoří projektant přesný model z 2D do 3D model přiléhajícího povrchu pro tělesné tvary. Problémy vyznačující se velkou deformací můžou být popsány přírůstkovou formulací a stresovým napětím. Pro tento účel je vygenerovaná síť tvarovaného povrchu. Síť může být vygenerována automaticky nebo interaktivně. Přesnost výpočtu je závislá na velikosti trojúhelníků.

Chování materiálu je přiděleno simulaci vývoje sítě ve dvou-dimenzionální rovině, v závislosti na použitém materiálu. Nejprve, UV-křivky mají být vypracovány přímo na povrchu (viz Obr. 26). Každý bod na křivce UV má U a V koordinaci, stejně jako každý povrchový bod. Když se změní bod, UV-křivky na povrchu se také změní.



Obr. 26 - UV-křivky vypracované přímo na povrchu [9]

S regionem funkcí je možné vytvářet přesné 2D stříhy z 3D modelu povrchu. Regiony v 3D modelu zarůstají plochami, které odpovídají povrchu kontury a překračují hranice sousedících ploch podle pokynů. Poté, co jsou na povrchu modelu vytvořeny 3D regiony, může být vyprodukován vyrovnaný protějšek 2D regionů.

Dalším krokem je použít mechanické vlastnosti úpletu na 3D oblasti. Simulace procesu je moderní technikou, která určuje zploštění deformací napětí, tlaku a rozložení sítě z 3D do 2D na mechanické vlastnosti vztahující se na podélný i příčný směr. Analýzu napětí nebo tlaku ukazují barvy 3D sítě napětí nebo tlaku na základě stavu vývoje 2D sítě.

Z hlediska vizualizace je možné použít vlastnosti materiálu a mapu oblastí s cílem posílit realistický vzhled modelu. [9]

4.4 Rozvinutí do 2D

Podle nejnovější teoretické studie o rozvinutí povrchu existují dva typické způsoby, a to **geometrické rozvinutí** a **fyzikální rozvinutí**:

Techniky geometrického rozvinování neberou v úvahu fyzikální vlastnosti materiálů. [1]

Fyzikální techniky rozvinování zpravidla odpovídají plošným modelům trojúhelníkové nebo obdélníkové sítě s koncovými body v hromadných průsečících. Na rozvinutém povrchu jsou uvažovány různé síly a energie. Obecně platí, že fyzikální proces rozvinutí z 3D povrchu oděvu lze shrnout do následujícího postupu:

- 1) vytvoření energetického modelu pro zakřivení textilie,
- 2) mapa všech 3D plátů do 2D roviny s omezením,
- 3) minimalizace energie při rozvinování. [1]

Metody způsobu rozvinutí

Vyrovnat trojúhelníkový povrch tím, že se **minimalizuje deformační energii ve 2D struktuře**. 3D povrch je rozdělen trojúhelníky Delaunay triangulací. Pak jsou trojúhelníky transformovány do roviny.

Vylepšení předchozí metody pomocí **algoritmu pružného (skokového) systému**. Tento systém vede koncové body na lépe přístupné pozice silou skoku a výpočtová rychlost minimalizace se zlepší. Přesnost rozvinutí může být řízena pomocí konstantního skoku.

Rozvinutí plochy založený na *modelu protkávané sítě použité na 3D volné plochy*. Montážní algoritmus je založen na mapování směru uzlu (TNM) a mapování úhlopříčky uzlu (DNM), kde TNM určuje postavení nového uzlu na povrchu podél osnovy nebo útku a DNM umístí uzel v diagonálním směru. Během 3D montážního procesu je deformační energie z protkávaného modelu vydána ve formě rozkládacího procesu, který minimalizuje deformaci mezi výsledným 2D modelem a daným povrchem.

Technologie rozvinování byla přijata při vývoji několika komerčních 3D CAD oděvních systémů, např. Gerber a DressingSim. Nicméně proveditelnost těchto systémů není dobrá, vždy existují určitá narušení ve 2D struktuře rozvinuté z 3D modelu oděvu. [1]

4.4.1 Rozvinutí prototypu oděvu

Pro rozvinutí z 3D do 2D plochy prototypu vedou následující zásady:

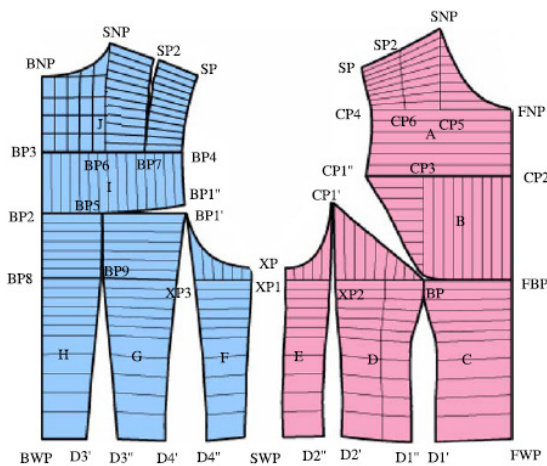
- 1) délky čar struktur musí být stejné,
- 2) v oblasti 3D a 2D povrchu by měly být kontrolovány mezery při plánování rozmístění řezů prototypu,
- 3) tvar stříhového vzoru a 3D modelu by se měli co nejvíce podobat. [1]

Při rozvinování každé zóny je nutné definovat vedoucí strukturu, jejíž tvar a poloha je dána zachováním prototypu vzoru, v případě literatury autorů *Yang Yunchu a Zhang Weiyan*, metodiky Nakamichi Tomoko.

Centrální linie pro rozvinutí přední a zadní strany jsou vertikály. Rozvinutí ploch postupuje od středu první linie u předního dílu a zadní středové linie u zadního dílu. Všechny povrchy při rozvinování z 3D do 2D musí mít zachované délky hran. Princip rozvinutí drátového 3D modelu spočívá v udržování horizontálních a vertikálních rovin. Výsledný rozvinutý 2D prototyp je vidět na Obr. 27. [1]

V literatuře autorů *Jing-Jing Fang, Yu Ding* jsou základní vzory vyrovnány pomocí metody, která uplatňuje dvě omezení. Centrální linka je držena kolmo a spodní lem je veden horizontálně. Všechny sítě jsou orientovány podle této hranice a omezení je směřováno ke stejnému omezení. [11]

V konečných fázích rozvinování by mělo dojít k analýze chyb délek hran před rozvinutím a po rozvinutí. Na velikost chyb má vliv relativně velké dělení povrchu. Prototyp 2D oděvu by měl být co nejvíce podobný prototypu stříhu oděvu. [1]

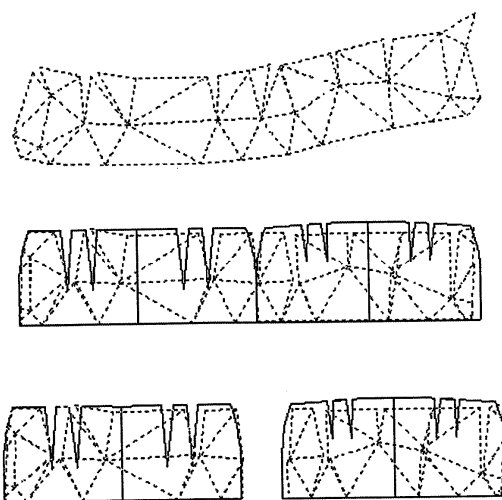


Obr. 27 - Výsledný rozvinutý 2D prototyp [1]

4.5 Porovnání metodik 3D a 1D

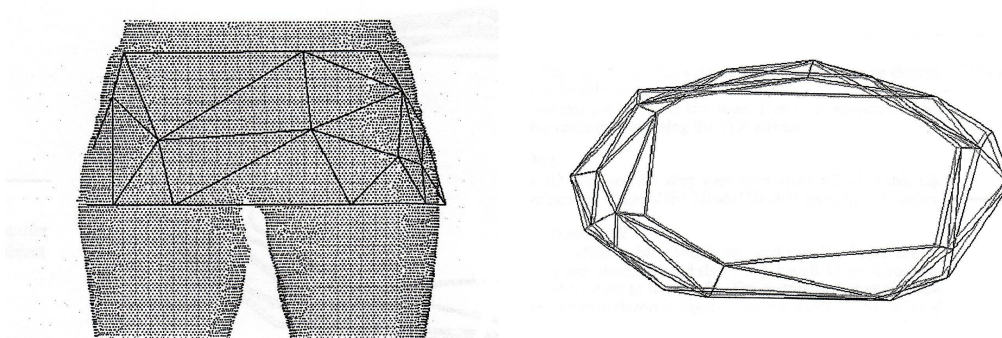
Metodika porovnání z literatury autora *Sibille Krzywinski a spol.* je aplikována na konstrukci sukně.

V první metodě byl do struktury sukně zanesen soubor dat přípustných pro 1D měření, které byly automaticky odvozeny z 3D skenování (skener TC2). Sukně pak byla vyrobena z džínového materiálu. Postup metody je znázorněn na Obr. 28.



Obr. 28 - V horní části: rozložení sukně triangulací. Část uprostřed: překrytí 1D sukně (vlevo pohled zezadu, vpravo pohled zepředu) obrazem trojúhelníků. Ve spodní části: oddělení přední a zadní části sukně. [8]

Druhá metoda byla založena na triangulaci naskenované části od pasu k bokům, jak je vidět na Obr. 29. Body z 3D skenování byly nejprve převedeny na trojúhelníky a ty pak byly sloučeny se sousedními trojúhelníky podobného zaměření až zůstalo 40 trojúhelníků. Tyto trojúhelníky byly sešity formou **patchwork** v sukni (použití modulu PolyWorks).



Obr. 29 - Zadní pohled na 3D sukni přes 3D naskenovaný model těla (vlevo) a horní pohled na počítačově vygenerovanou sukni (vpravo) [8]

Sukně byly testovány přímo na ženách. Vytvořená 3D patchwork sukně se jevila mnohem lepší než sukně vytvořená z 1D skenovaných bodů. Ve druhém případě byla sukně příliš široká, protože skenování obvodu pasu překročilo ručně odvozené hodnoty. Pro 3D vygenerovanou sukni bylo nutné trojúhelníky zvětšit pomocí faktoru $1,025k$ pro dosažení optimálního padnutí. Trojúhelníky byly promítány na ploché rovině kolmo k normále povrchu. Jeden roh byl koordinován do $(0,0)$ a trojúhelník byl potočen kolem $(0,0)$ tak, že druhý koordinoval na X -osu $(x1,0)$. Třetí souřadnice byla $(x2,y2)$. Všechny souřadnice byly násobeny koeficientem 1,025, aby se zajistilo padnutí sukně po celém těle.

Vzory sukně byly zpracovány pomocí zakázkového systému Investronika CAD a převedeny do formátu DXF. Program NARCIS (D& M Technology Co.) byl použit pro 3D virtuální sešití a testování sukni. Vyšetřovala se deformace, jednoduchost množství a relativní tlak.[8]

Experimentální část

5. Úprava nasnímaných dat

Nasnímaná data zvoleného modelu figuríny byla pořízena prostřednictvím firmy *Gefos a.s.*, sídlící v Praze. Digitalizace modelu figuríny byla zprostředkována technologií bezkontaktního snímání pomocí laserového skeneru. Veškeré práce s nasnímanými daty byly prováděny v programu Catia V5 v aplikaci Shape. Pro další práci s modelem v případě konstrukčních řešení byly zvlášť nasnímány a vygenerovány zájmové body na figuríně.

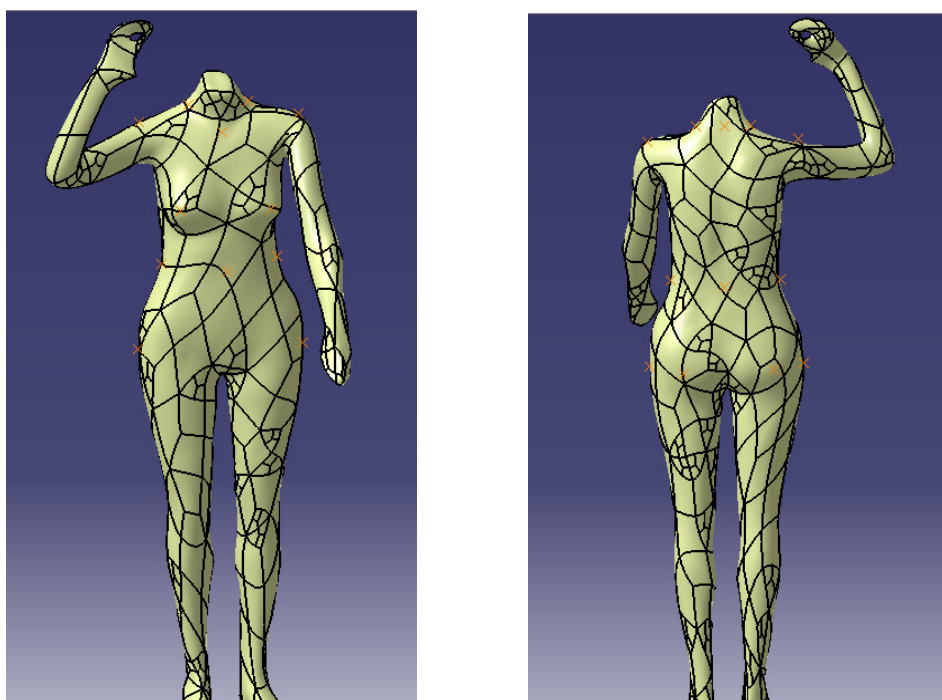
Naskenovaná data byla importována do modulu Digitized shape editor. Vstupní hodnoty importovaného mračna bodů byly zmenšeny v měřítku 1:10 (tzn. 10 mm = 10 cm). Takto připravená data byla využita pro vytvoření prvotní kontury, tzv. *sítě mesh*. Tvorba sítě mesh je detailněji popsána v literatuře *Marie Ženožičkové*. Za zmínku stojí, že prvotní vytvořená síť je složená z trojúhelníků. Takto nejednotný a ostrý povrch bylo nutné upravit. Vyplnila se prázdná místa, odstranily se chyby vzniklé během vytváření sítě a síť se vyhladila.

Takto získaná data povrchu figuríny byly dále zpracovány v modulu Quick surface reconstruction. Designér je schopen v tomto modulu rekonstruovat povrch a analyzovat zakřivení, a tím vytvářet přesné segmenty plochy z vytvořeného meshe. Povrchová kontura byla vytvořená automaticky z meshe. Vygenerovala se tak nepravidelná síť, která přesně kopíruje povrch naskenovaného modelu. [27]

6. Úprava počítačového modelu figuríny

Tělo figuríny upravené a pokryté povrchovou konturou bylo pro další práci převedeno do modulu *Generative Shape Design*. V tomto modulu byla zpracována převážná část experimentu. Prostředí modulu Generative Shape Design (GSD) programu Catia V5 je popsáno a znázorněno v příloze 2. V příloze jsou rovněž popsány příkazy použité při práci s modelem figuríny.

Pro následné úpravy modelu figuríny bylo potřeba na její povrch importovat samostatně vygenerované zájmové body, tj. 7. krční obratel, boční krční bod, bod v krční jamce, ramenní bod, prsní bod, bod v pupíku, boční pasový bod, pasový bod v zadním středu, boční sedový bod a sedový bod v místě hýždí. Ty posloužily k rychlé orientaci na těle figuríny a k dalšímu správnému členění z hlediska anatomie. Zobrazené zájmové body (červeně označené) lze vidět na Obr. 30.



Obr. 30 - Importované zájmové (hlavní) body

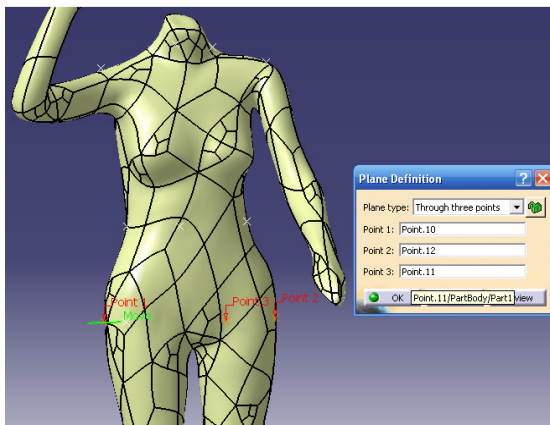
Pro realizaci experimentu rozvinutí povrchu byla zvolena horní část těla modelu figuríny.

K získání samostatné horní části trupu posloužily importované zájmové (hlavní) body. Díky těmto bodům se vytvořila soustava horizontálních (transversálních) a vertikálních (sagitálních) rovin, pomocí nichž se model těla figuríny rozdělil a ořezal na

požadovaný tvar pro následnou aplikaci křivek (drátového modelu) zvoleného typu oděvu (viz kapitola 6.1).

Požadovaný tvar horní části modelu figuríny se získá následujícím postupem:

1) Transversální rovina v místě sedu – viz Obr. 31 :



Obr. 31 - Transversální rovina v místě sedu

intersekce nepotřebnou část nohou

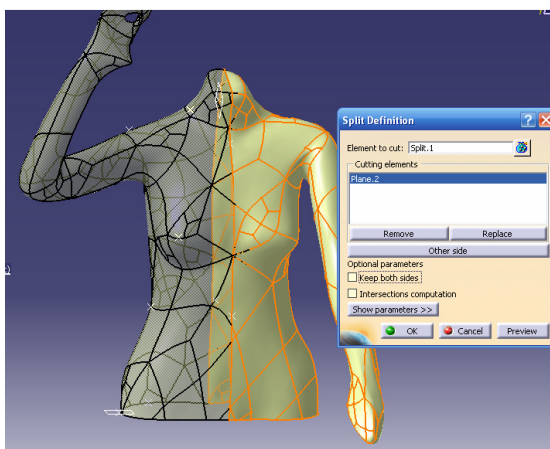
– příkaz **Plane** = rovina pomocí tří bodů:

1. pravý boční sedový bod
2. levý boční sedový bod
3. jeden sedový bod v místě hýždí

– příkaz **Intersection** = zobrazí obrys průsečíku vytvořené roviny s plochou modelu těla figuríny v místě sedu

– příkaz **Split** = ořízne pomocí

2) Rozdělení na pravou a levou polovinu pomocí mediánní roviny – viz Obr. 32 :



Obr. 32 - Rozdělení na pravou a levou polovinu pomocí mediánní roviny

zachováme obě části

– příkaz **Plane** = rovina pomocí tří bodů:

1. 7. krční obratel
2. pasový bod v zadním středu
3. bod v pupíku

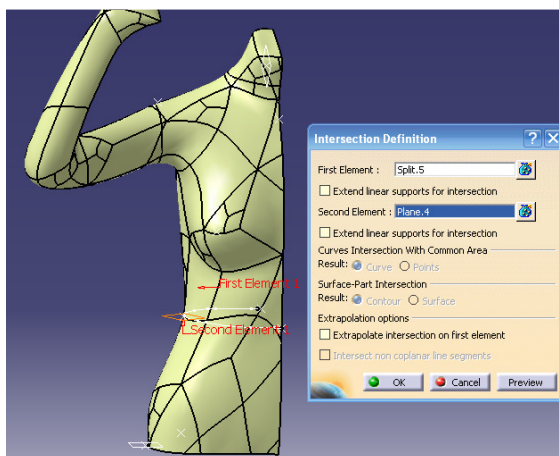
– příkaz **Split** = rozřízne pomocí vytvořené mediánní roviny tělo figuríny na dvě symetrické části těla – pravou a levou část

– zaškrtnutím políčka **Keep both Aires**

– pro další práci je potřeba jen pravé poloviny těla

– levou polovinu schováme pomocí příkazu **Hide/Show** = tento příkaz umožňuje schovat/zviditelnit segmenty a úkony, které při práci (ne)byly potřebné

3) Transversální rovina v místě pasu – viz Obr. 33 :



Obr. 33 - Transversální rovina v místě pasu

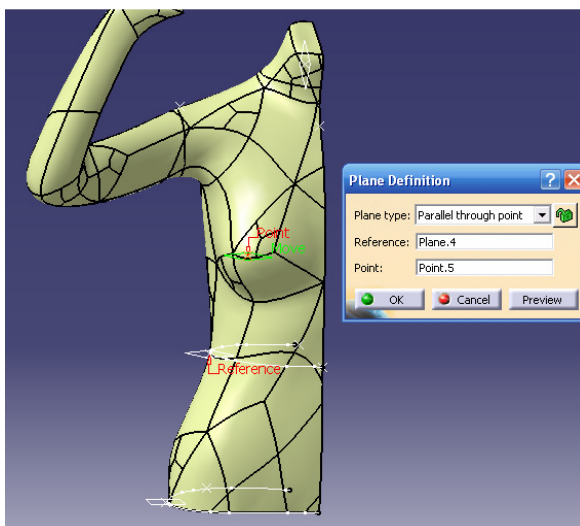
– příkaz **Plane** = rovina pomocí tří bodů:

1. pravý boční pasový bod
2. pasový bod v zadním středu
3. bod v pupíku

– příkaz **Intersection** = zobrazí obrys průsečíku vytvořené roviny s plochou modelu těla figuríny v místě pasu

– vznikl tak příčný intersektovaný obrys obvodu pasu

4) Transversální rovina v místě hrudi – viz Obr. 34 :



Obr. 34 - Transversální rovina v místě hrudi

– příkaz **Plane** = paralelní rovina v místě bodu:

1. referenční rovinou je transversální rovina v pase
2. prsní bod

– příkaz **Intersection** = zobrazí obrys průsečíku vytvořené roviny s plochou modelu těla figuríny v místě hrudi

– vznikl tak příčný intersektovaný obrys obvodu hrudníku

5) Oříznutí nepotřebných částí těla:

a) krk

– příkaz **Plane** = pomocí tří bodů: 1. pravý boční krční bod
2. levý boční krční bod
3. 7.krční obratel

– příkaz **Split** = rozřízne pomocí vytvořené transversální roviny část krku modelu figuríny

b) pravá ruka

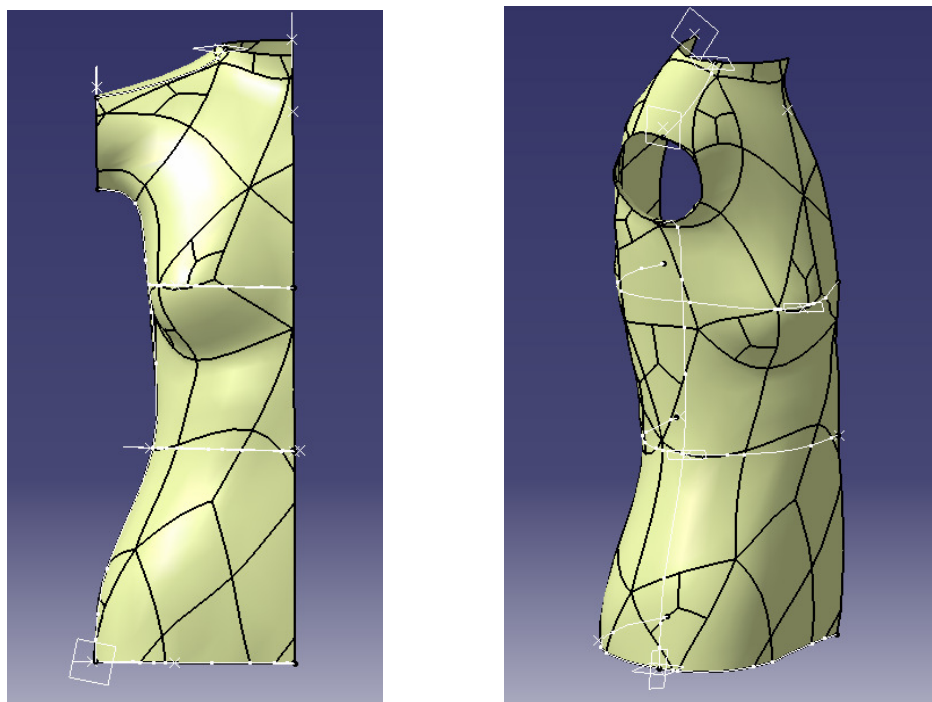
- příkaz **Plane** = paralelní rovina v místě bodu:
 1. ref. rovina v mediánní rovině vedená středem těla
 2. pravý ramenní bod
- příkaz **Intersection** = zobrazí obrys průsečíku vytvořené roviny s plochou modelu těla figuríny v místě ramene

Intersekcí roviny na tělo figuríny se obrys vytvořil i v místě sedu. Je potřeba obrys rozdělit do dvou částí (příkaz **Disassembler**). Poté vzniklou druhou část obrysu intersektce vymazat a pro oříznutí použít zbylý obrys intersektce v místě ramene ruky. Podobný případ je zobrazen na Obr. 38.

- příkaz **Disassembler** = rozdělí obrys intersektce na dva obrysy křivek
- příkaz **Split** = pomocí intersektce v místě ramene ořízne nepotřebnou část ruky

6) Rozdělení torza figuríny na přední a zadní část pomocí frontální roviny:

- příkaz **Plane** = rovina pomocí tří bodů:
 1. pravý boční sedový bod
 2. pravý ramenní bod
 3. boční krční bod
- příkaz **Intersection** = zobrazí obrys intersektce vytvořené roviny s plochou modelu těla figuríny v oblasti ramene a boku
- tato intersektce zobrazuje dělení na přední a zadní část těla figuríny, výsledné ořezané a rozdělené torzo hrudi modelu figuríny je vidět na Obr. 35.



Obr. 35 - Ořezané torzo těla modelu figuríny

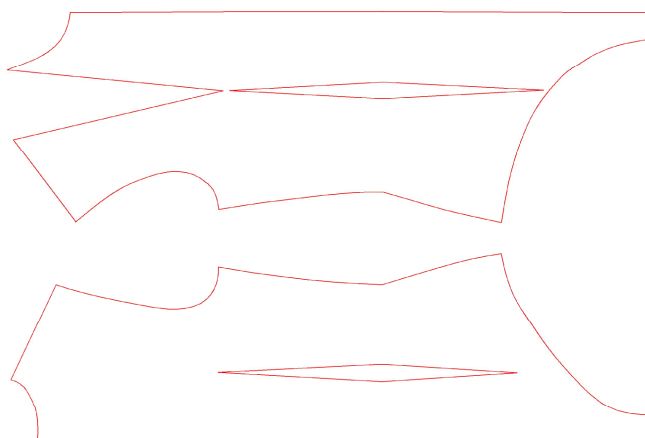
6.1 Výběr vhodné konstrukce dámského oděvu

Pro montáž sítě křivek (drátového modelu) na model figuríny bylo potřeba zvolit vhodný typ konstrukce oděvu. Tvar sítě uspořádaných křivek by měla kopírovat konstrukční síť zvoleného dámského oděvu.

Byla vybrána konstrukce dámského spodního prádla – dámského body metodiky **Müller & Sohn**. Tato konstrukce střihu dámského spodního prádla vychází z konstrukce střihu dámské podprsenky. Střih má tu vlastnost přiléhat k lidskému tělu co nejtěsněji. Využívá záporných nebo nulových hodnot přídavek na volnost.

Potřebné hlavní rozměry byly změřeny na skutečném reálném modelu dámské figuríny. Míry naměřené pomocí krejčovského metru jsou vepsány do tabulky 1 v příloze 3.

Míry se přibližují velikosti **38** velikostního sortimentu **DOB**. Metodika postupu konstrukce dámského body je popsána v příloze 3. Při výpočtech regresních vzorců se vypustily některé přídavky na volnost, hlavně v obvodových konstrukčních přímkách. Zachovaly se tak přesné naměřené obvody těla figuríny v konstrukci střihu dámského body. Konstrukce střihu dámského body je vyhotovena v papírové podobě v měřítku M 1:1 (vložen do desek přílohy 3). Výsledná konstrukce dámského body je zobrazena na Obr. 36.



Obr. 36 - Zkonstruované dámské body na skutečné míry figuríny

Pro ověření vhodně zvolené konstrukce oděvu byl zkonstruovaný střih dámského body ušit z pružného úpletového materiálu, hnědé plavkoviny. Ušitý model oděvu se oblékl na skutečný reálný model figuríny, jejíž zdigitalizovaný model je předmětem zkoumání ve 3D. Padnutí oděvu je možné pozorovat na fotografiích Obr. 37.



Obr. 37 - Fotodokumentace padnutí dámského oděvu na skutečném modelu figuríny

Na fotografii uprostřed je vidět, že v oblasti pod prsy dochází k volnosti. Látka nepřiléhá k tělu. Totéž je možné sledovat na fotografii vpravo v oblasti mezi prsy. Volnost oděvu je způsobena nedostatečným modelováním pasového vybrání v oblasti prsou a vybrání mezi prsy předního dílu. Jinak lze považovat střih za vhodně zvolený. V jiných oblastech oděv přiléhá k tělu a nedochází k volnostem.

V další části této práce je použit vybraný typ oděvu. Obrysy křivek a čar konstrukce jsou aplikovány na model těla figuríny v podobě drátěného modelu.

6.2 3D vizualizace zvoleného typu oděvu na model figuríny

S odvoláním na kapitolu 4.2 je zde zvolen třetí přístup 3D vizualizace oděvu na virtuální model těla figuríny.

6.2.1 Aplikace hlavních obrysových čar oděvu

Na model těla figuríny jsou aplikovány hlavní obrysové křivky ve vzdálenostech určující hodnoty vypočtené z regresních vzorců metodiky Müller & Sohn.

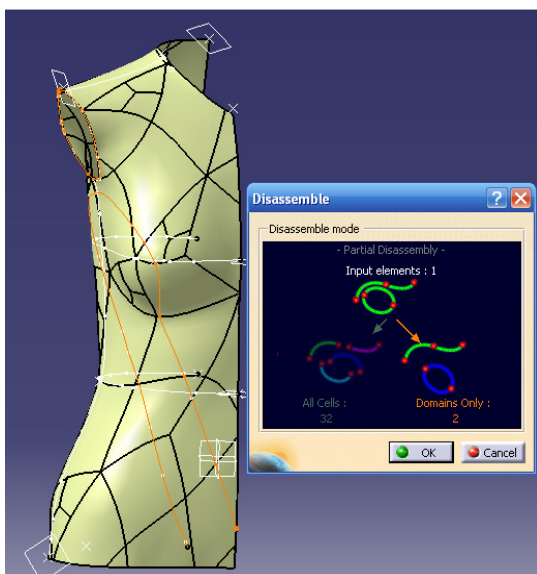
Před aplikací hlavních obrysových křivek byly provedeny úpravy v oblasti krku a podpaží. Aby rozvinuté plochy části těla figuríny co přesněji kopírovala tvar zvoleného oděvu, bylo nutné tyto oblasti oříznout. Oříznutím v oblasti podpaží se získá přibližný tvar průramku prototypu oděvu a v oblasti krku přibližný tvar průkrčníku prototypu oděvu.

Postup oříznutí oblastí je následující:

1) Oříznutí oblasti krku

- příkaz **Plane** = rovina tvořená třemi body:
 1. 7. krční obratel
 2. boční krční bod
 3. bod v krční jamce
- příkaz **Intersection** = zobrazí křivku průsečíku plochy těla s vytvořenou rovinou
- příkaz **Split** = pomocí vzniklé intersektce ořízne část krku

2) Oříznutí oblasti podpaží – viz Obr. 38:



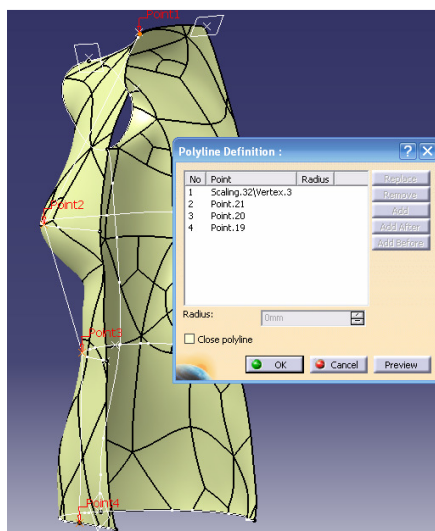
Obr. 38 - Oříznutí oblasti podpaží

- příkaz **Point** = vytvoření bodu na křivce
- náhodně umístěné dva body v podpaží a rameni tak, aby se přibližovaly tvaru průramku
- příkaz **Plane** = rovina tvořená třemi body:
 1. ramenní bod
 2. první náhodný bod
 3. druhý náhodný bod
- příkaz **Intersection** = intersektce vytvořené roviny a plochy těla
- intersektce se vykreslila i na část těla
- příkaz **Disassembler** = rozdělí obrys intersektce na dva obrysy křivek
- nepotřebná část křivky se smaže
- příkaz **Split** = pomocí intersektce v místě podpaží ořízne nepotřebnou část ruky

3) Zvětšení ořezaného torza modelu figuríny na skutečnou velikost M 1:1 pomocí příkazu **Scaling**

Tvorba hlavních obrysových čar oděvu:

1) Umístění hlavní prsní přímky (obrysové čáry) na přední části – viz Obr. 39 :

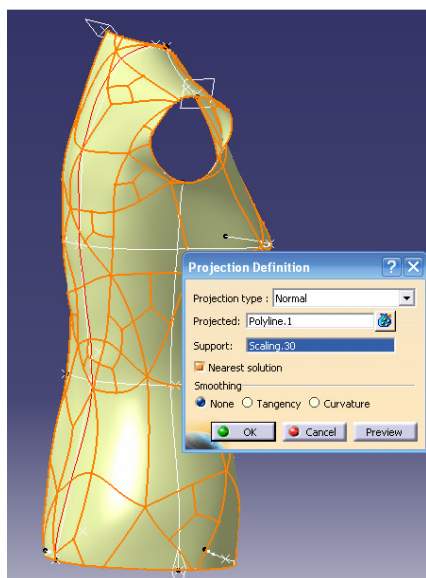


Obr. 39 - Umístění hlavní prsní přímky

- příkaz **Point** = bod na sedovou křivku
- bod je umístěný ve vzdálenosti $1/10 \text{ oh} + 0,5 = 91 \text{ [mm]}$
- ve stejné vzdálenosti jsou aplikovány další body na hrudní a pasovou obrysovou křivku
- příkaz **Polyline** = propojení vzniklých bodů linií čar, linie začíná v bodě na sedové křivce a končí v bočním krčním bodě (tento bod vznikl oříznutím části krku rovinou)

- příkaz **Projection** = vyprojektuje danou linii čar na povrch figuríny

2) umístění hlavní lopatkové přímky (obrysové čáry) na zadní části - viz Obr. 40:



Obr. 40 - Umístění hlavní lopatkové přímky

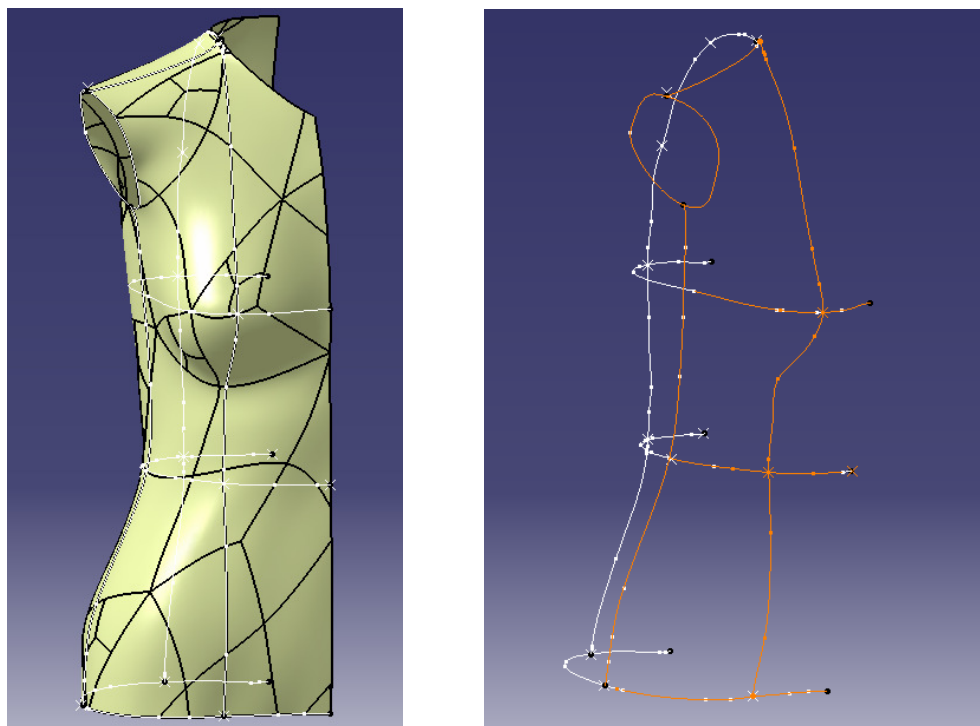
- proces je podobný jak u přední části
- použité příkazy **Point**, **Polyline**, **Projection**
- určující body jsou umístěny na pasovou křivku a křivku obvodu hrudníku ve vzdálenosti $\frac{1}{2} \text{ šž} = 79 \text{ [mm]}$
- na sedové křivce je bod umístěn v návaznosti na umístěný bod v pase (deformace v místě středu hýždí neumožňuje použít vypočtenou vzdálenost)
- další ručně umístěné body v oblasti lopatky určují plynulý směr křivky do bočního krčního bodu

3) Konečné řezání:

- příkaz **Split** = rozřeže pomocní vyprojektovaných čar (prsí, boční, lopatková) model těla figuríny na čtvrtiny

Hlavní obrysové dělicí čáry jsou vidět na Obr. 41. Vpravo je barevně odlišená přední část a průřemek. Obrysové čáry kopírují tvar těla figuríny.

Rozřezáním tak vznikly další jednotlivé díly přední a zadní části. V přední části došlo k rozdělení na přední střední část a přední boční část, na zadní části k rozdělení na zadní střední část a zadní boční část.



Obr. 41 - Základní obrysové dělení modelu figuríny na prototyp oděvu

6.2.2 Aplikace vedlejších obrysových čar oděvu

Aplikací dalších vedlejších obrysových čar, které budou součástí drátěného modelu, se docílí rozdělení přední a zadní části do tzv. dělicích zón.

Postup dělení do zón:

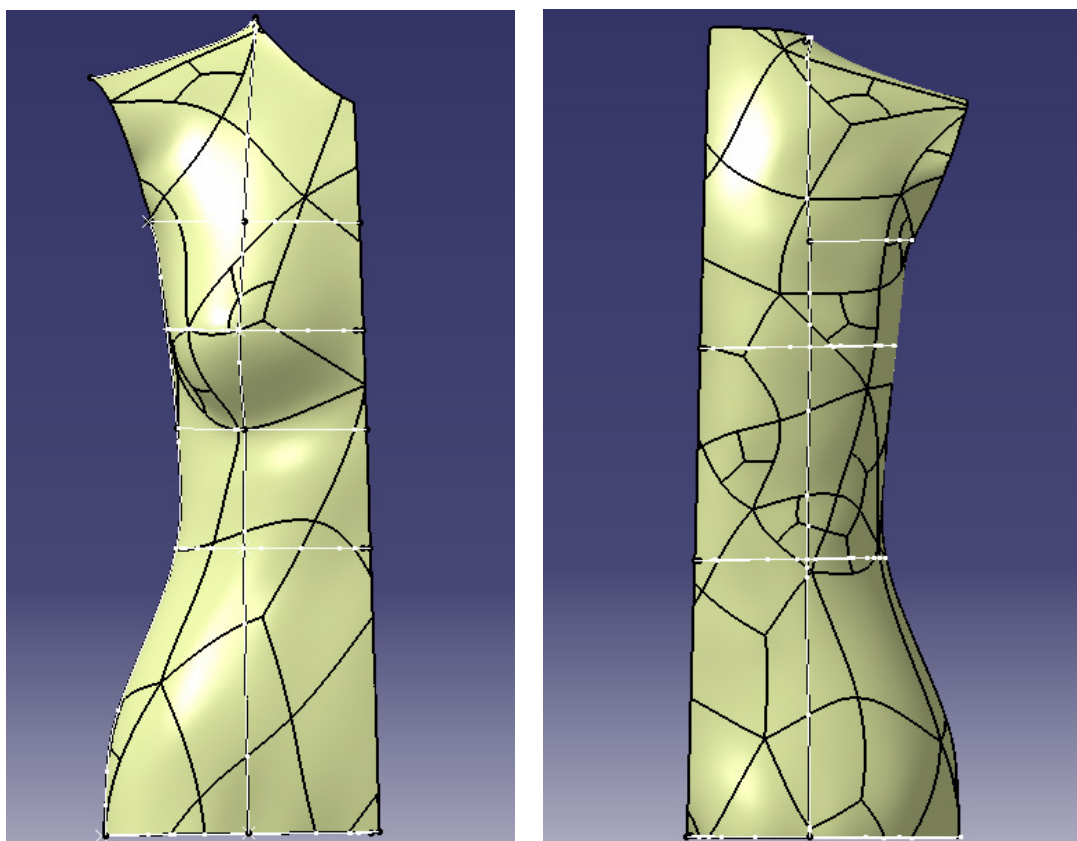
1) Dělicí křivka v obvodu pod prsy:

- příkaz **Plane** = paralelní rovina v místě bodu:
 1. ref. rovina transversální rovina v místě hrudi
 2. bod v zakřivení pod prsem
- příkaz **Intersection** = zobrazení intersektce se zadanou rovinou přes střední přední část a boční přední část

2) Dělicí křivka v nadprsí části:

- příkaz **Plane** = paralelní rovina v místě bodu:
 1. ref. rovina transversální rovina v místě hrudi
 2. bod v podpaží
- příkaz **Intersection** = zobrazení intersektce se zadanou rovinou přes přední střední část, přední boční část a zadní boční část

Vytvořené dělicí zóny je možné vidět na Obr. 42. Na přední části torza modelu vzniklo celkem 10 dělicích zón a na zadní části celkem 7 dělicích zón.

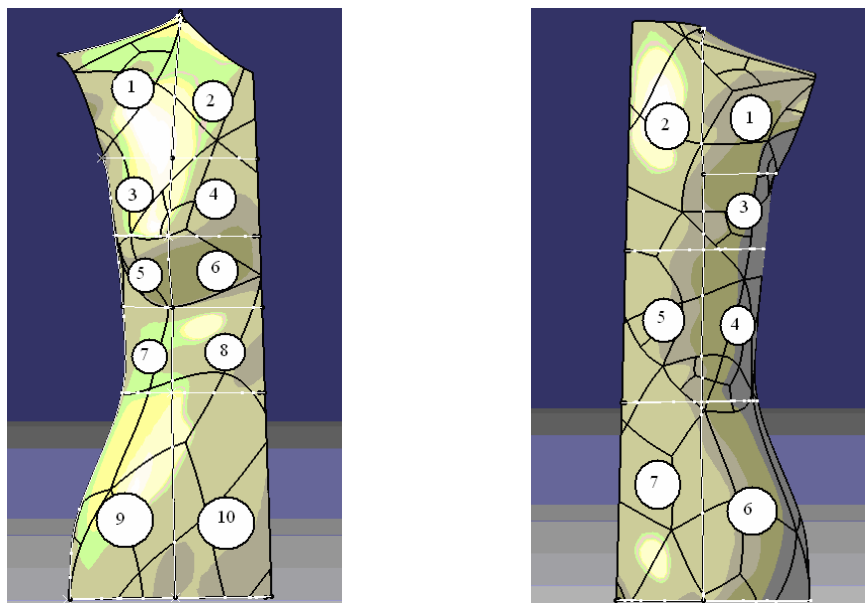


Obr. 42 - Vytvořené dělicí zóny na přední a zadní části torza modelu figuríny

6.2.3 Dělení jednotlivých zón

Jemnost a hrubost dělení jednotlivých zón určovalo zakřivení tvarování modelu těla figuríny. Jemnější krok dělení (cca 10 mm) byl zvolen v oblasti prsou v přední části a v oblasti pod lopatkou v zadní části. Oblast prsou je nejvíce zakřivenou částí těla. Zde byla aplikována kombinace vertikálních a horizontálních dělicích křivek.

Pro lepší orientaci mezi jednotlivými zónami bylo vhodné si každou zónu opatřit číslem. Způsob očíslovaných zón je vidět na Obr. 43.

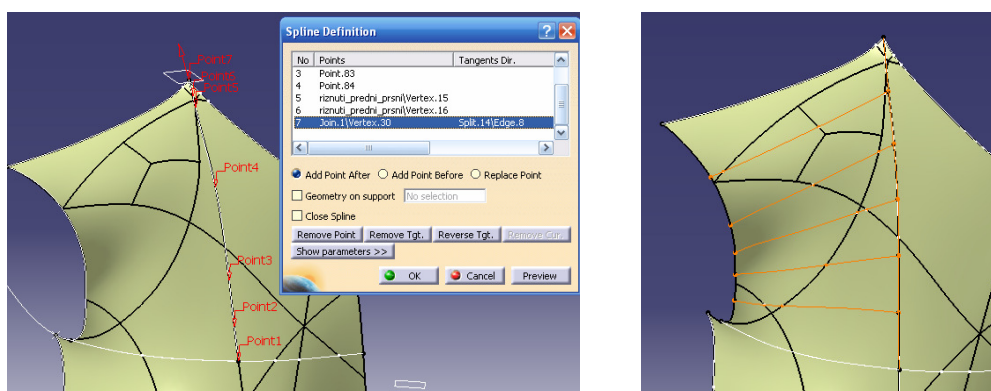


Obr. 43 - Očíslované zóny

Dělení jednotlivých zón na přední části:

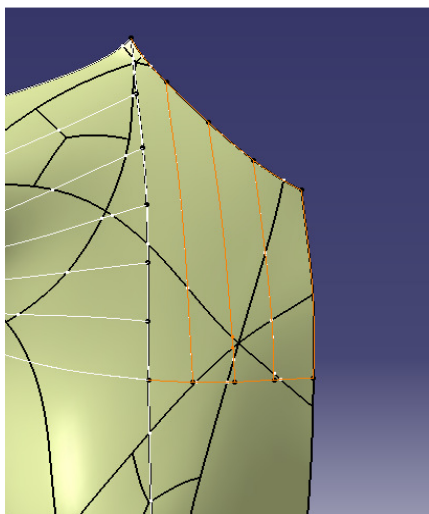
Zóna (1) – viz Obr. 44

- náhodně se rozmístily body na křivce řezu prsní přímkou příkazem **Point**
- body se proložily křivkou příkazem **Spline** (Obr. 44 vlevo) – při definici křivky se zadávají tangentní podmínky v koncových bodech (platí pro každou vytvořenou křivku)
- po délce křivky se v pravidelné vzdálenosti, cca 30 mm, rozmístilo 5 bodů pomocí příkazu **Points and Planes Repetition**
- příkaz **Point** – v myšlené části průramku se body na křivce udávaly ručně po jednom tak, aby červený bod směru uložení splýval s bodem protilehlým na prsní křivce
- vzniklé dvojce protilehlých bodů se spojily křivkou příkazem **Spline**
- příkazem **Projection** se křivky vyprojektovali na povrch modelu (Obr. 44 vpravo)



Obr. 44 - Zóna (1)

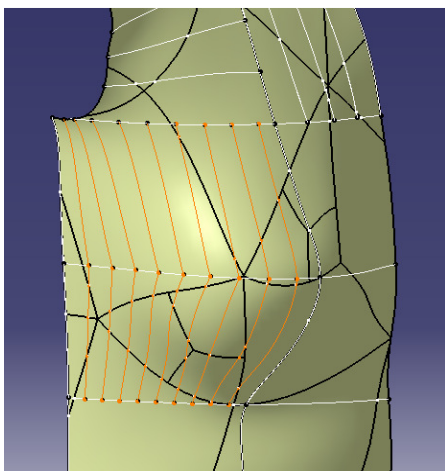
Zóna (2) – viz Obr. 45



Obr. 45 - Zóna (2)

- na intersektované křivce v nadprsí části předního středového dílu se vytvořily pravidelně rozestoupené 3 body ve vzdálenosti cca 20 mm příkazem **Points and Planes Repetition**
- v intersekcí myšleného průkrčníku se vytvoří jednotlivé body, které mají směr uložení splývající s protilehlým bodem v nadprsí křivce příkazem **Point**
- dvojce protilehlých bodů se spojí křivkou pomocí příkazu **Spline**
- křivky se vyprojektují na povrch modelu příkazem **Projection**
- místo řezu mediánní rovinou se proloží křivkou **Spline** pomocí ručně umístěných bodů **Point** na křivce předního středu

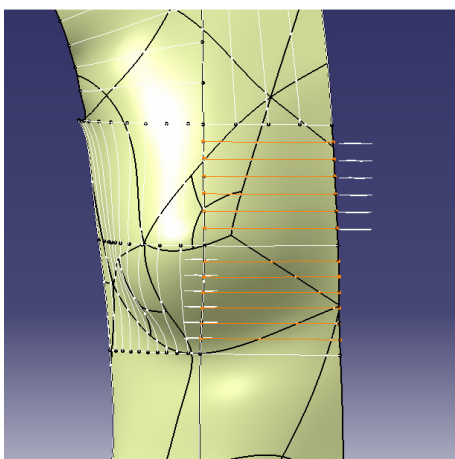
Zóny (3) a (5) – viz Obr. 46



Obr. 46 - Zóna (3) a (5)

- postup tvorby dělení je totožný s postupem v zóně (1) a (2)
- intersekcí v obvodu hrudníku je nutné proložit křivkou **Spline** pomocí ručně umístěných bodů **Point**, pro každou zónu zvlášť
- je zde použito jemnějšího dělení, proto vzdálenost umístěných bodů (Points and Planes Repetition) odpovídá vzdálenosti cca 10 mm

Zóna (4) – viz Obr. 47



Obr. 47 - Zóna (4) a (6)

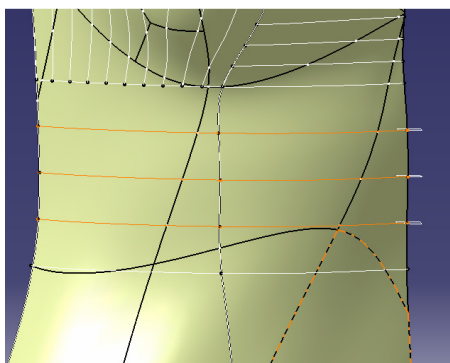
s povrchem modelu

- intersekcce v obvodu hrudníku se proloží křivkou **Spline** pomocí ručně umístěných bodů **Point**
- mezi vytvořenou transversální rovinou v místě hrudi a nadprsní rovinou se vytvoří set šesti rovin ve vzdálenosti cca 15 mm pomocí příkazu **Planes Between**
- příkazem **Intersection** se vytvoří skupina křivek vzniklých intersekcí setu rovin

Zóna (6) – viz Obr. 47

- postup je totožný s postupem zóny (4)
- mezi vytvořenou transversální rovinou v místě hrudi a podprsní rovinou se vytvoří set šesti rovin ve vzdálenosti cca 10 mm (příkaz **Planes Between**)

Zóna (7) a (8) – viz Obr. 48



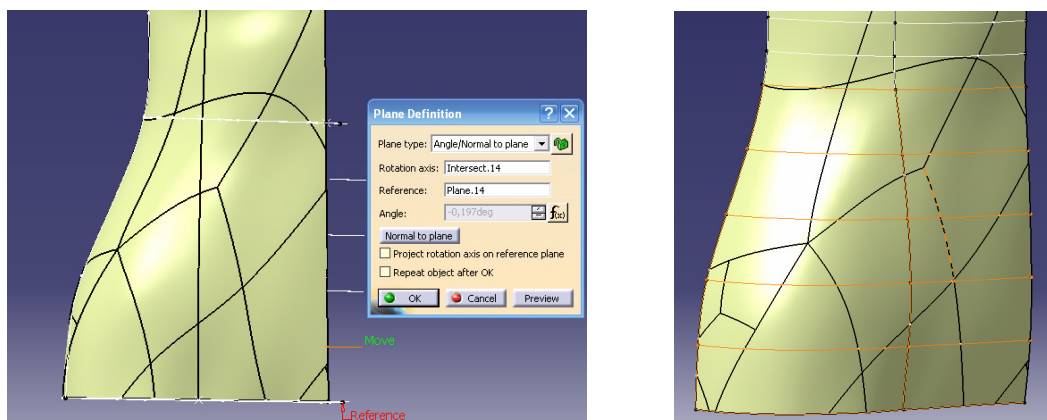
Obr. 48 - Zóna (4) a (6)

setu rovin na obou dílech přední části

- intersekcce v obvodu pasu se proloží křivkou **Spline** pomocí ručně umístěných bodů **Point**, pro každou zónu zvlášť
- mezi vytvořenou transversální rovinou v místě pasu a podprsní rovinou se vytvoří set tří rovin ve vzdálenosti cca 20 mm pomocí příkazu **Planes Between**
- příkazem **Intersection** se vytvoří intersekcce

Zóna (9) a (10) – viz Obr. 49

- postup je totožný s postupem zóny (7) a (8)
- mezi vytvořenou transversální rovinou v místě pasu a transversální rovinou v místě sedu se vytvoří set čtyř rovin ve vzdálenosti cca 40 mm pod určitým úhlem, příkaz **Planes Between** – dochází k tomu proto, že roviny vytvořené pomocí zájmových bodů nejsou navzájem rovnoběžné (viz Obr. 49 vlevo)



Obr. 49 - Zóna (9) a (10)

Dělení jednotlivých zón na zadní části:

Dělení jednotlivých zón na zadní části modelu figuríny je podobné jako dělení na přední části. Není nutné zdlouhavé popisování dělení každé zóny. Proto bude následně uvedena jen podoba mezi zónami a upozorněno na odlišnosti. Dělení zadní části ve finální podobě můžeme vidět na Obr. 50.

Zóna (1)

- dělení je identické zóně (1) na přední části

Zóna (2)

- dělení je identické zóně (2) na přední části
- intersekcí v obvodu hrudníku zadního středového dílu bylo nutné proložit křivkou *Spline* pomocí ručně umístěných bodů *Point*
- na křivce se vytvořily pravidelně rozestoupené tři body ve vzdálenosti cca 19,5 mm příkazem *Points and Planes Repetition*

Zóna (3)

- dělení je identické zóně (4) na přední části
- mezi vytvořenou transversální rovinou v místě hrudi a rovinou v místě lopatky se vytvoří set čtyř rovin ve vzdálenosti cca 15 mm (pomocí příkazu *Planes Between*)

Zóna (4) a (5)

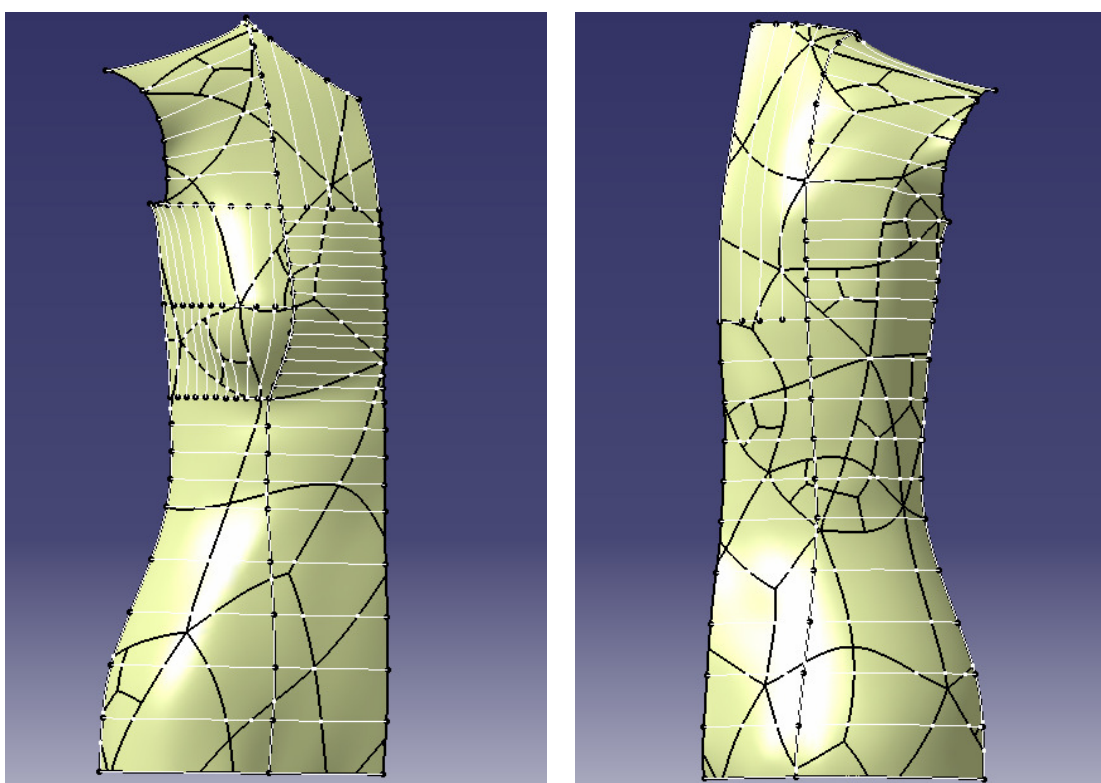
- dělení je identické zóně (7) a (8) na přední části

- intersektce v obvodu hrudi a obvodu pasu se proloží křivkou **Spline** pomocí ručně umístěných bodů **Point**, pro každou zónu zvlášť
- mezi vytvořenou transversální rovinou v místě pasu a v místě hrudi se vytvoří set čtyř rovin ve vzdálenosti cca 30 mm pomocí příkazu **Planes Between**

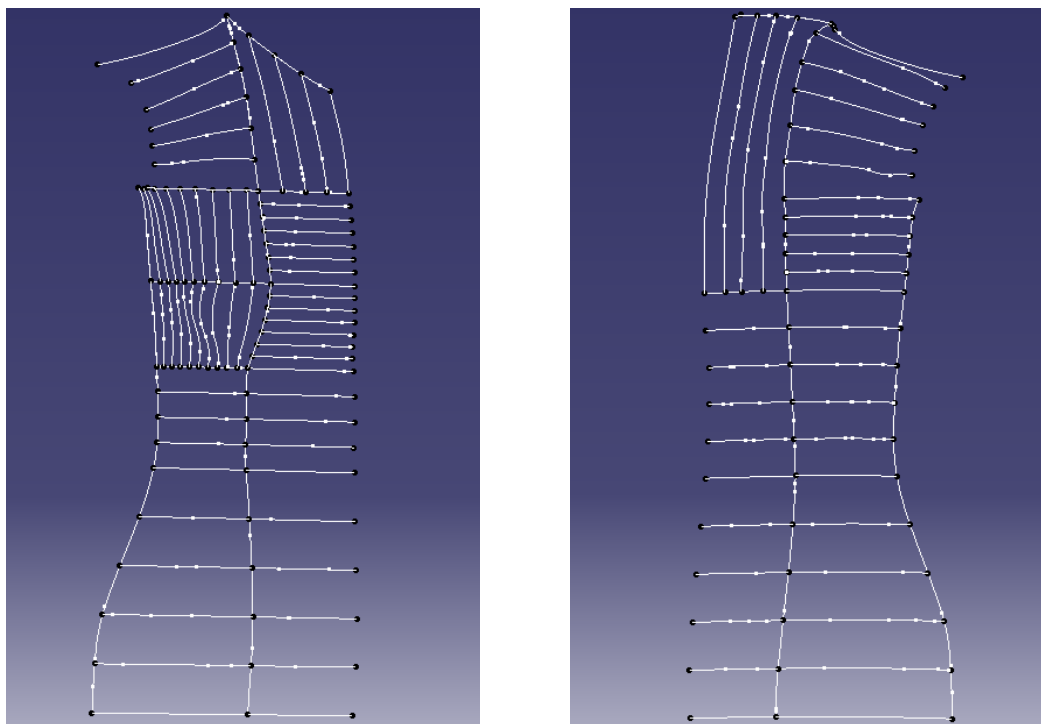
Zóna (6) a (7)

- dělení je identické zóně (9) a (10) na přední části

Výsledné dělení jednotlivých zón je vidět na Obr. 50, drátový model na Obr. 51.



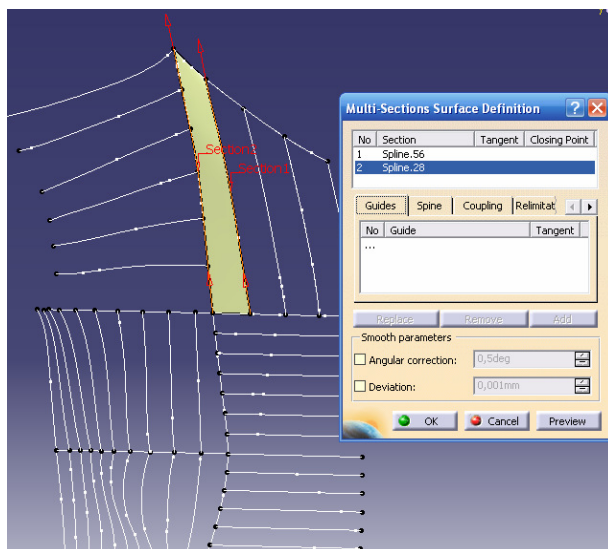
Obr. 50 - Dělení modelu figuríny (přední část vlevo, zadní část vpravo)



Obr. 51 - Výsledný drátový model (přední část vlevo, zadní část vpravo)

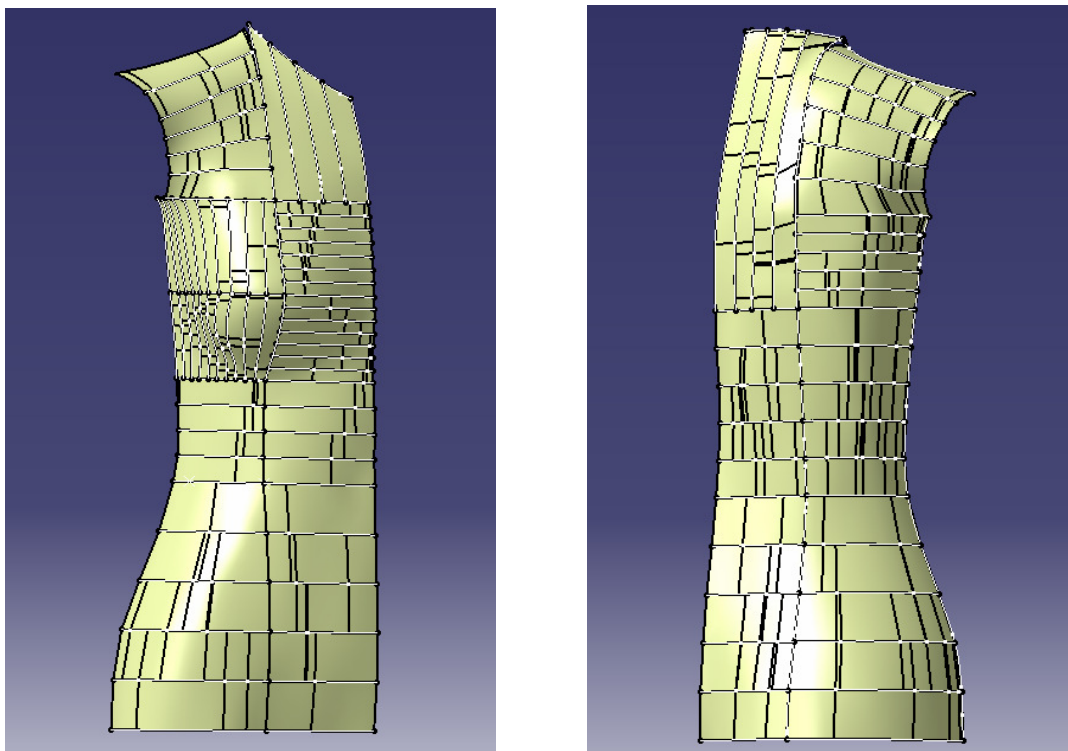
7. Rozvinutí do 2D

Před samotným rozvinutím každého dílku z jednotlivých zón se prostor mezi křivkami musí vyplnit plochou. K tomu slouží příkaz **Multi-Sections Surface** (viz Obr. 52).



Obr. 52 - Vyplnění prostoru mezi křivkami plochou

Vyplněné prostory mezi křivkami každé zóny na přední části a zadní části modelu figuríny jsou ke zhlédnutí na Obr. 53.

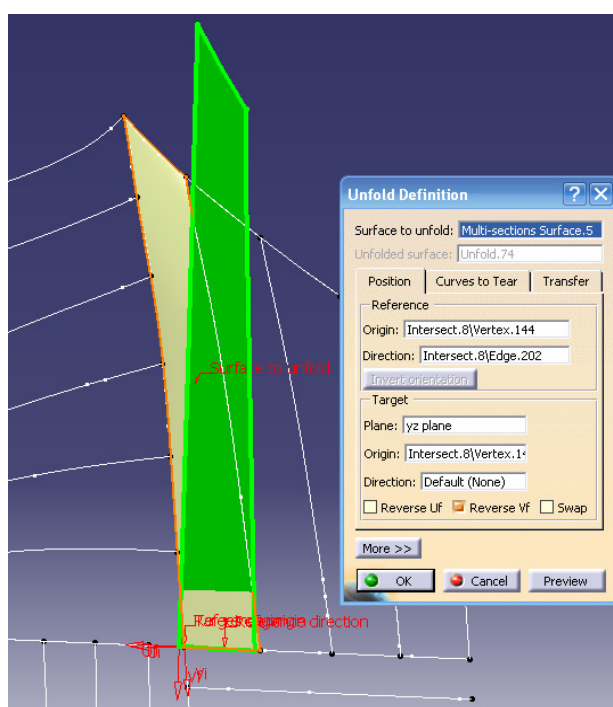


Obr. 53 - Vyplnění na přední části a zadní části modelu figuríny

Následně se bude rozvinovat každá plocha dílku jednotlivé zóny samostatně pomocí příkazu **Unfold** (viz Obr. 54). Tento příkaz slouží k rozvinu přímkových ploch. K rozvinu dochází pomocí trojúhelníkové sítě, která vznikla a skrývá se ve vyplněném prostoru mezi křivkami. Při rozvinu počítá s minimálním energetickým stavem (minimálními ztrátami).

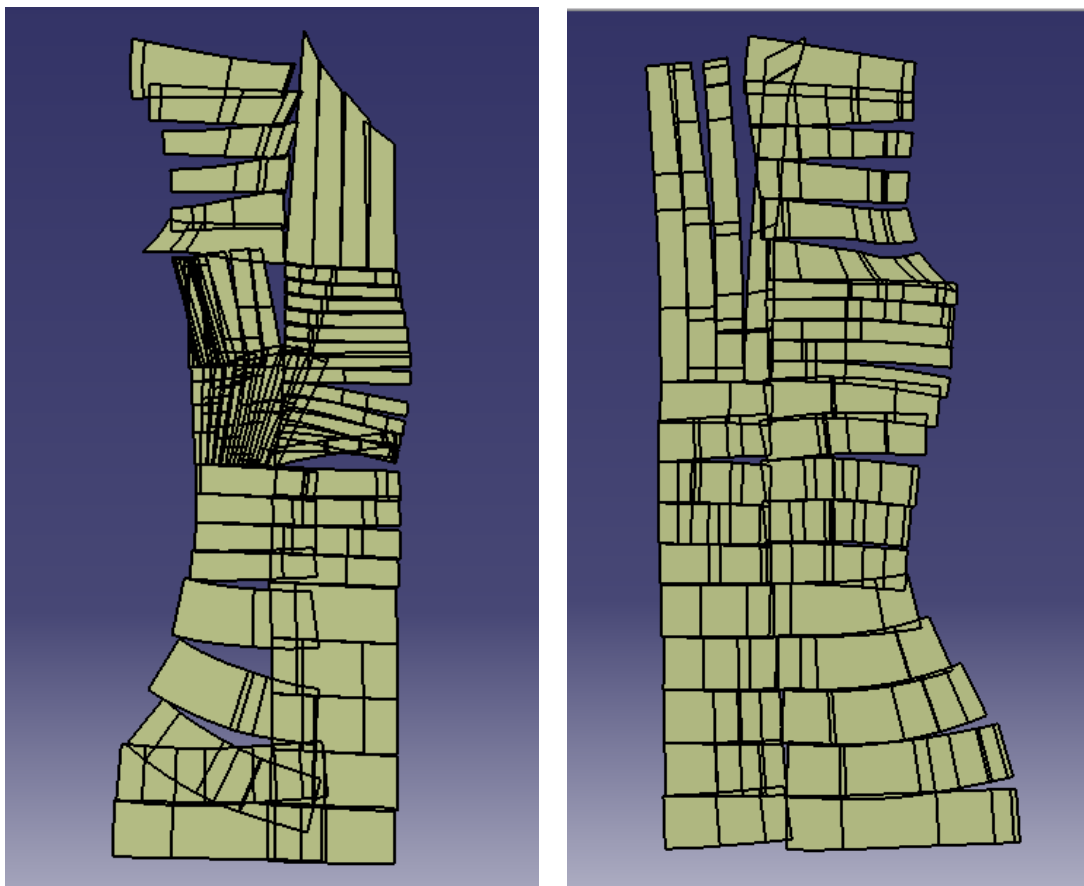
Postup je pro všechny plochy dílků stejný a zadávání základních údajů rovněž. *Reference Origin* udává výchozí polohu (referenční linii) rozvinu a *Reference Direction* udává referenční směr rozvinu. V položce *Target plane* můžeme určit libovolnou rovinu, ve které se daný tvar rozvine (s nulovou křivostí). Položka *Target Origin* udává polohu rozvinutého tvaru.

Původ referenční polohu (Reference Origin) je zadán v levém dolním bodě a směr reference (Reference Direction) je vždy v dolní linii dílku. Cílová rovina rozvinutí (Target Plane) se udává pokaždé rovina YZ. Cílová poloha rozvinutého vzoru (Target Origin) je vždy totožná s původní, tj. levý dolní bod. Tyto pravidla se dodržují u každého dílku. Referenční směry rozvinutí vzoru V_i nebo U_i se snažíme udržovat ve stejném směru jako původní. Toho se docílilo růzností kombinací zaškrtnutí políček *Reverse Uf/Vf* nebo *Swap* (výměna obou směrů).



Obr. 54 - Příkaz Unfold

Na Obr. 55 je znázorněno konečné rozvinutí plochy horní části těla modelu figuríny do 2D.



Obr. 55 - Konečné rozvinutí plochy vybrané části těla modelu figuríny.

Takto připravenou rozvinutou plochu obou částí, přední i zadní, torza těla modelu figuríny je možné dále zpracovávat ve výkresovém modulu **Drafting**. Modul je součástí 3D programu Catia V5.

7.1 Práce ve výkresovém modulu Drafting

Modul Drafting byl vybrán pro zpracování získaných rozvinutých dat povrchu těla figuríny z modulu GSD. Prostřednictvím modulu bylo možné rozvinutou plochu dále upravit do přibližného tvaru vybraného typu oděvu. Prostředí modulu Drafting a ikony použitých příkazů lze zhlédnout v příloze 2.

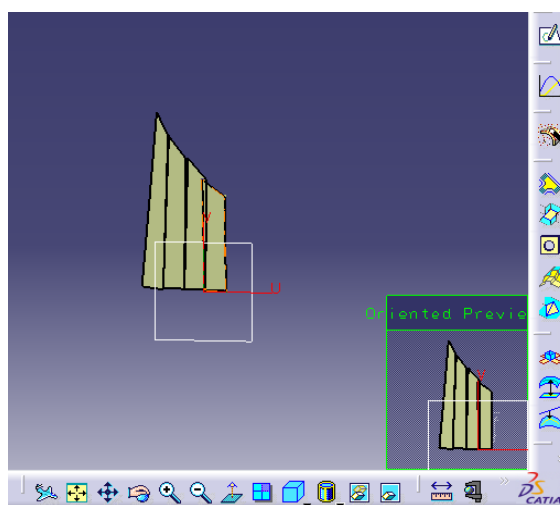
Předem je nutné do modulu Drafting vygenerovat výkresovou dokumentaci na základě získaných rozvinutých dat v GSD.

Postup vygenerování výkresové dokumentace je následující:

- 1) Otevřeme model již vytvořené rozvinuté plochy přední/zadní části modelu torza figuríny přes menu **File-Open**.
- 2) Následně nastartujeme modul Drafting přes menu **Start – Mechanical Design – Drafting**.
- 3) V dialogovém okně **New Drawing Creation** se zvolí možnosti předvolených pohledů na základě 3D modelu – využilo se možnosti vyjmutí prázdného listu papíru ikonou **Empty Sheet** (další možnosti lze definovat během vytváření výkresové dokumentace, nebo až když je hotová).
- 4) Pro přemístění rozvinuté plochy z GSD do Draftingu je nutné aktivovat ikonu s příkazem **Front View**.
- 5) Pro výběr polohy rozvinuté plochy se musí přejít do modulu GSD pomocí menu **Window** a zaškrtnout políčko s modelem, který se má přenést.
- 6) V modulu GSD se vybere vhodná pozice modelu rozvinuté plochy jedné zóny (viz Obr. 56).

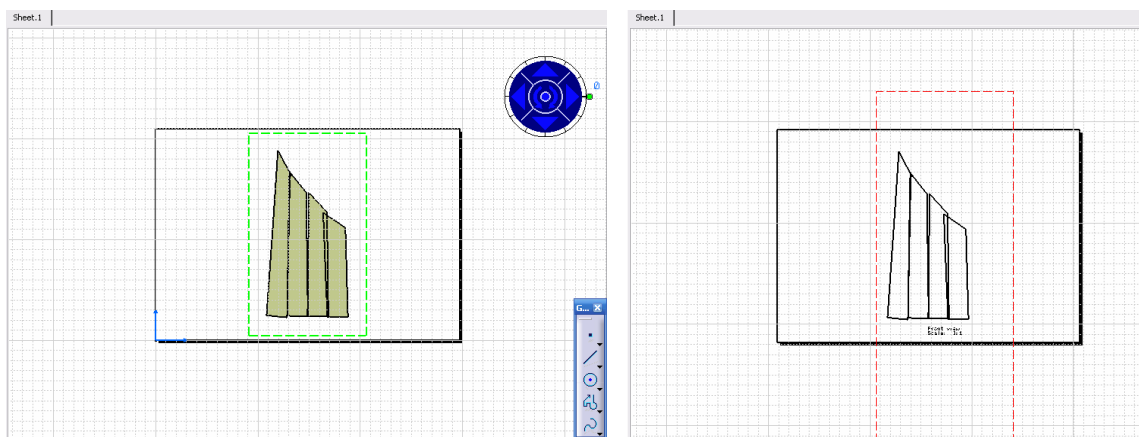
Před výběrem pozice rozvinuté plochy je jednodušší každou zónu rozvinuté plochy modelu přenést do výkresového modulu jednotlivě. Nedochozí tak ke zmatkům při oddělování jednotlivých rozvinutých 2D ploch dílků v každé zóně. Přenesením najednou celé rozvinuté plochy (všech zón) modelu z GSD do Draftingu, by bylo těžké pracovat s překrytými plochami, správně je rozčlenit na 2D plochy dílků a urovnat v konečný tvar prototypu oděvu.

Pozice a referenční směry U a V, udávající směr uložení do modulu Drafting, se zobrazují v pravém dolním rohu pracovní plochy GSD.



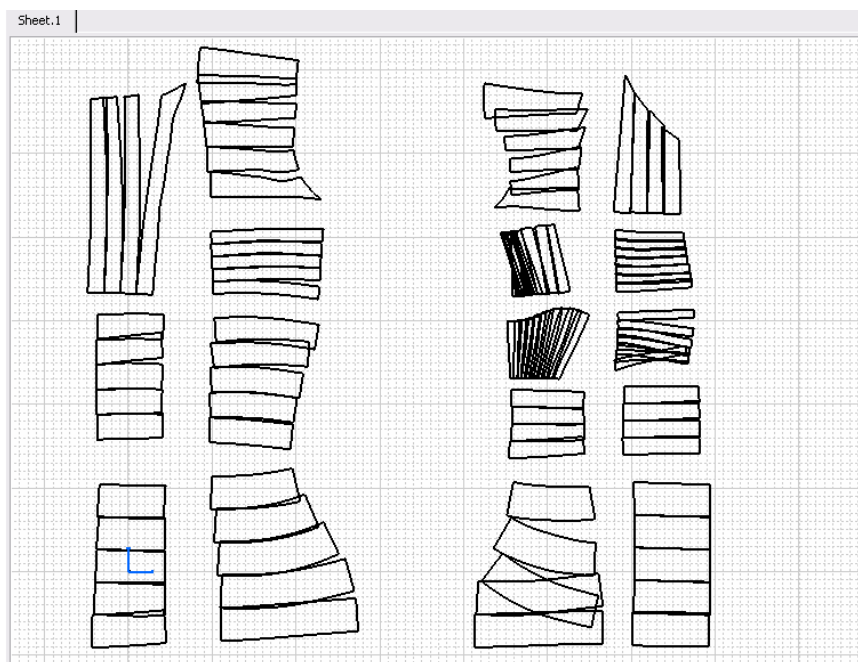
Obr. 56 - Výběr vhodné pozice vykreslení zóny (2) přední části torza figuríny

- 7) V modulu Drafting je pak možné vybranou pozici upravit pomocí tzv. terče (změna úhlu pootočení po frontále a pootočení po vertikále), kliknutím na střed terče se vybraná poloha ukotví, viz Obr. 57.



Obr. 57 - Ukotvení pohledu pomocí tzv. terče

- 8) Krok 4), 5), 6) a 7) se opakuje do chvíle, kdy jsou přeneseny všechny zóny přední/zadní části torza modelu figuríny. Výsledky postupu jsou vidět na Obr. 58.

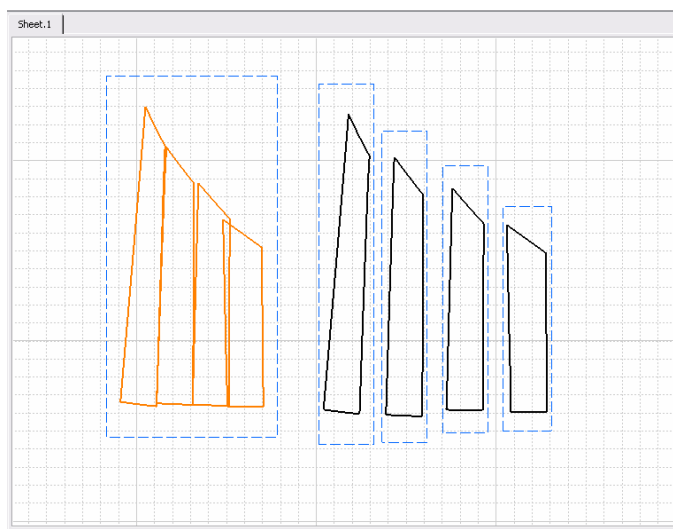


Obr. 58 - Vygenerovaná přední a zadní část torza figuríny v modulu Drafting

7.1.1 Vygenerování jednotlivých dílků zón

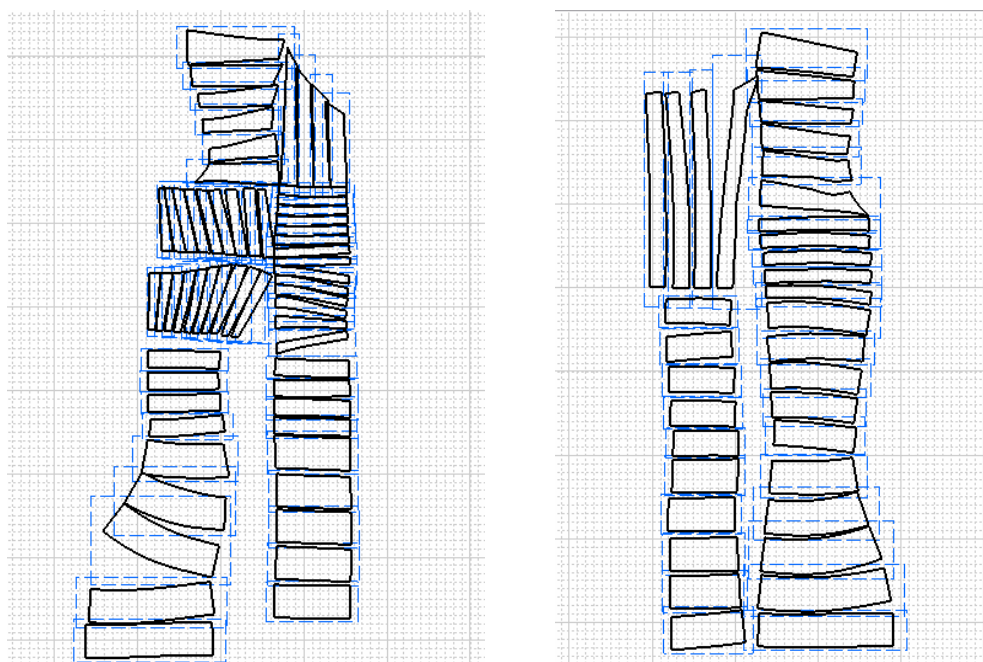
Dalším úkolem je z každé zóny, přední a zadní části, vygenerovat každý dílek 2D plochy samostatně. Práce spočívá v tom, že se zkopíruje každá zóna tolikrát, kolik

jednotlivých 2D ploch dílků zóna obsahuje. Z každé kopie se poté vyselektuje požadovaný dílek a to tím, že se promazávají ostatní nepotřebné čáry 2D ploch dílků. Názorná ukázka je vidět na Obr. 59.



Obr. 59 - Vyselektované 2D plochy dílků ze zóny (2) přední části

Tento postup je velmi zdlouhavý a náročný na detaily. Místy je nutné si vyselektovanou 2D plochu dílku přiblížit tak, aby bylo viditelné, jaká z překrývajících čar patří danému 2D dílku. Výsledné vyselektované 2D plochy dílků každé zóny jsou prozatím náhodně umístěny do přibližného tvaru kopírujícího střih dámského body. Výsledek vyselektovaných 2D ploch dílků je zobrazen na následujícím Obr. 60.

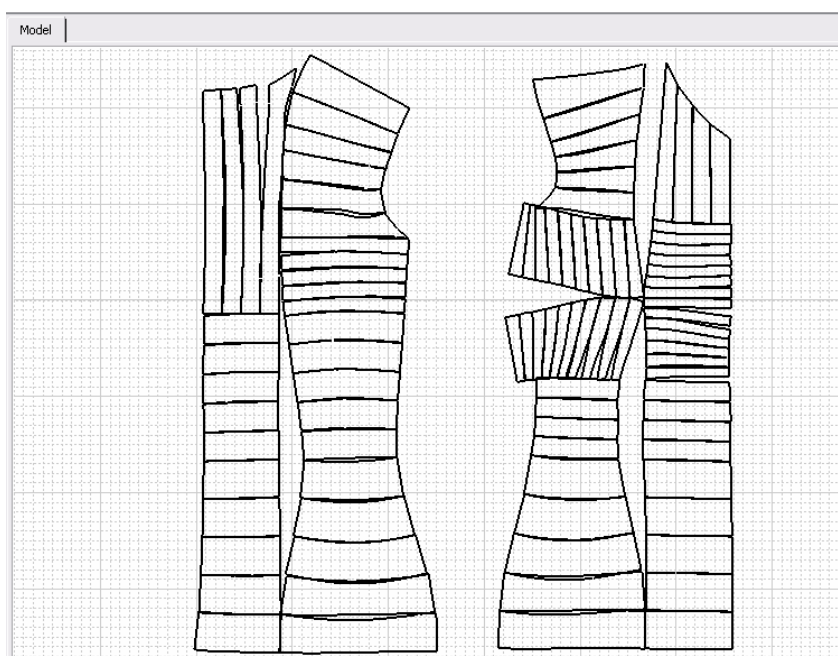


Obr. 60 - Výsledné vyselektované 2D plochy dílků pření části (vlevo) a zadní části (vpravo)

7.1.2 Modelace prototypu oděvu

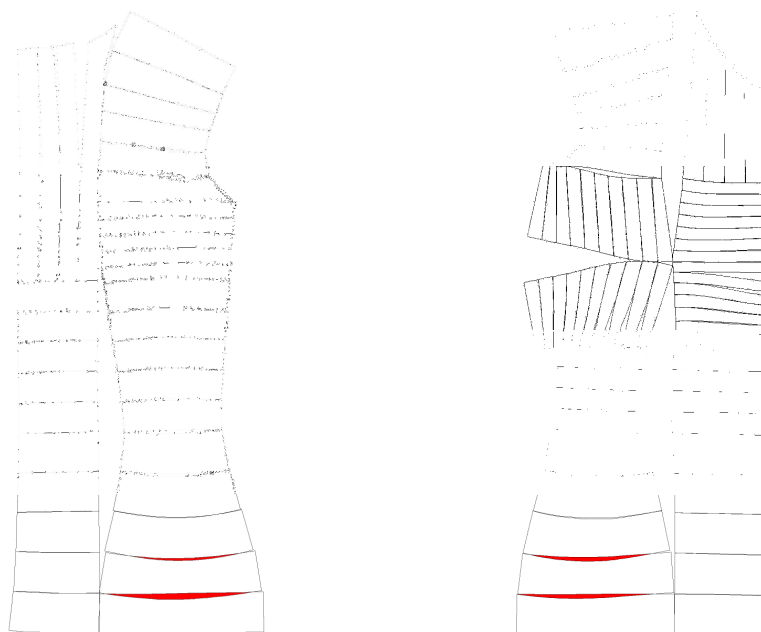
Při modelování je nutné dodržovat polohu a tvar. Centrální linie pro zadní a přední část jsou vertikály. Polohování 2D ploch dílků postupuje od zadního středu u zadní části a od předního středu u přední části. Současně se udržuje se směr horizontální roviny v linii sedu .

Modelace prototypu oděvu z vyselektovaných 2D ploch dílků probíhá ručně. Zadáváním úhlů se plochy dají natáčet jak je potřeba. Pomocí kurzoru se dílky umisťují co nejblíže k sobě tak, aby místy docházelo k překrývání obrysových čar 2D ploch dílků. Úhel pootočení dílku se zadává ručně v **Properties** – karta **View - Scale and Orientation: Angle**. Výsledný tvar prototypu oděvu je vidět na Obr. 61.



Obr. 61 - Výsledný tvar prototypu oděvu

Dodržováním horizontálních a vertikálních rovin při polohování 2D ploch dílků docházelo k vzájemnému překrývání nebo naopak k vytvoření prázdných míst. Na Obr. 62 je znázorněno červenou barvou, kde došlo k maximálnímu překrytí dílků. K překrytí dochází v místě boku u obou částí prototypu oděvu.



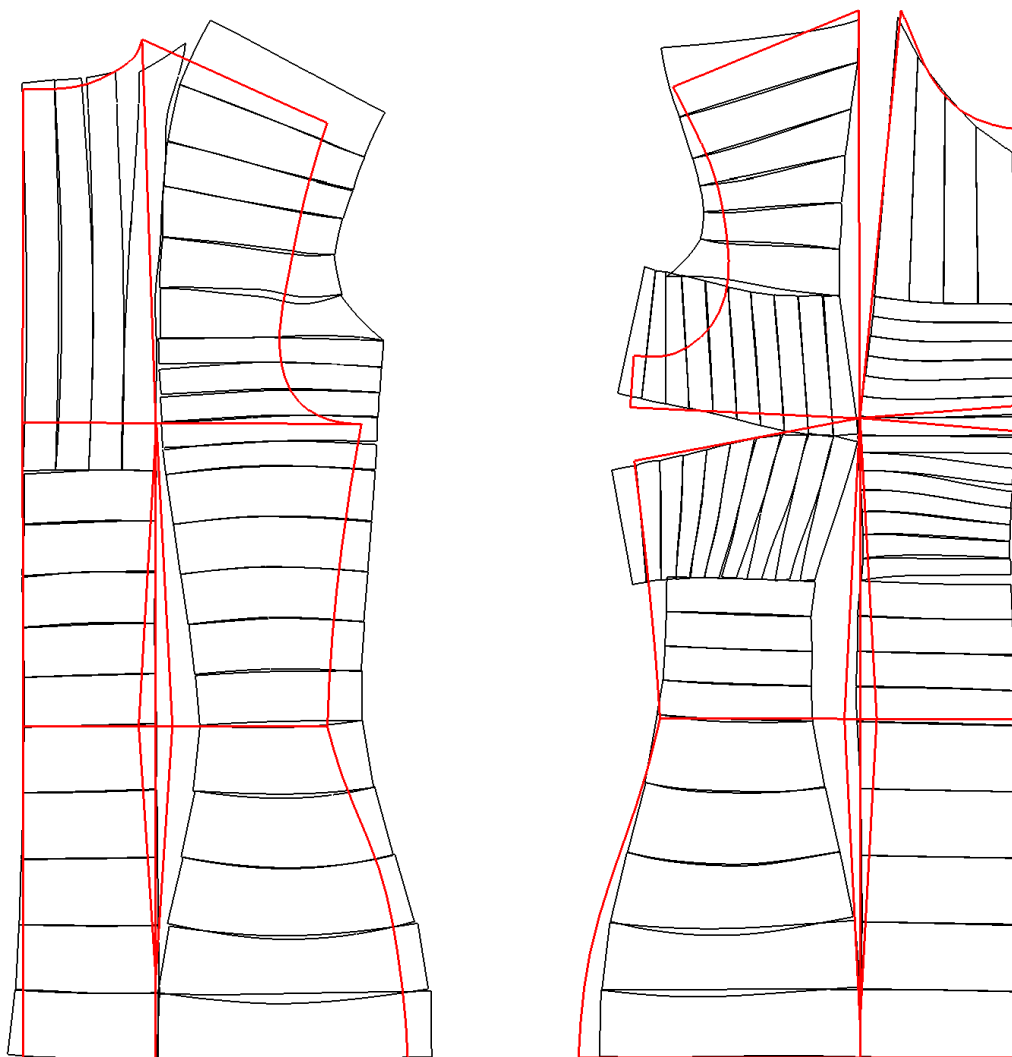
Obr. 62 - Překrytí dílků

7.2 Porovnání 2D rozvinuté plochy se střihem dámského oděvu

Před porovnáním rozvinutého vzoru se střihem dámského body bylo potřeba zkonstruovaný střih dámského body metodiky Müller & Sohn upravit tak, aby mohl být porovnán s prototypem střihu oděvu v programu Catia V5.

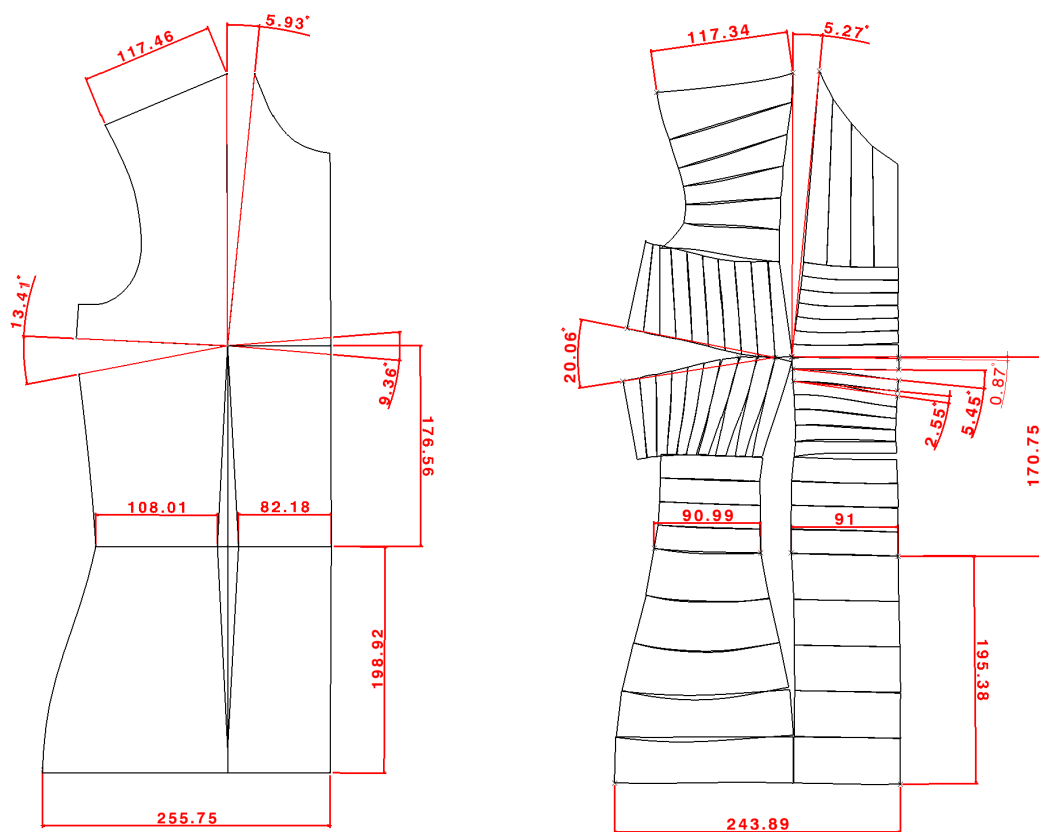
Pomocí digitizéru byla provedena digitalizace PD a ZD dámského body. Digitalizace byla umožněna softwarem *LECTRA*. Modelové úpravy střihu proběhly v programu *InvesMark Futura* v modelu *PGS*. Výsledné upravené díly střihu byly převedeny do formátu *DXF*. Tento formát lze otevřít ve výkresovém modulu programu Catia V5. Pro pohodlnější manipulaci byly převedeny do formátu *DXF* i výsledné tvary prototypu oděvu zhotovené ve výkresovém modulu.

Porovnání upraveného střihu dámského body a prototypu oděvu rozvinutého povrchu těla figuríny bylo provedeno ve výkresovém modulu Drafting programu Catia V5. Při přikládání rozvinutého vzoru na střih dámského body, byly jako základní přímky zvoleny sedová přímka, zadní střed u ZD a přední střed u PD. Výsledek porovnání je znázorněn na Obr. 63.

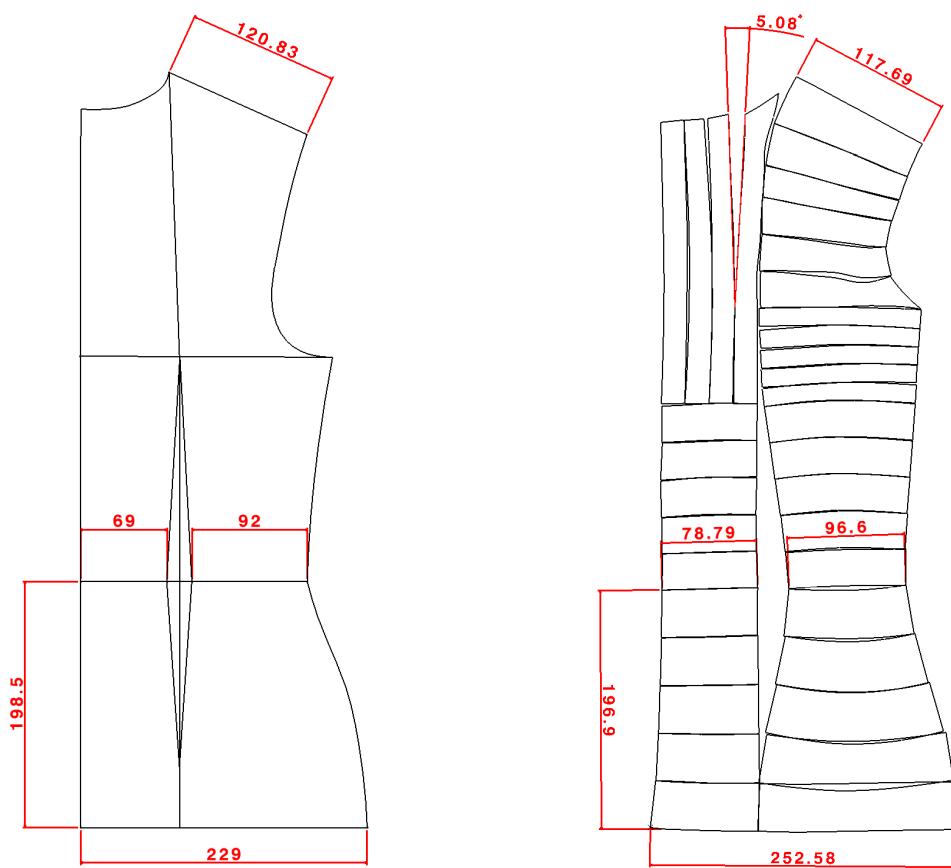


Obr. 63 - Porovnání střihu dámského body a prototypu oděvu

Pro číselné porovnání, shodnosti prototypu oděvu rozvinutého povrchu těla figuríny a střihu dámského body, byly změřeny a okótovány hlavní rozměry na každém z nich. Měřené rozměry jsou vyobrazeny na následujícím Obr. 64 a Obr. 65.



Obr. 64 - Okótované rozměry PD dám.body a prototypu



Obr. 65 - Okótované rozměry ZD dám.body a prototypu

Hodnoty měřených přímek a úhlů jsou vypsány do tabulky 1.

Tab. 1 - Hodnoty měřených přímek a úhlů

	PD		ZD	
	Rozvinutý vzor	Dámské body	Rozvinutý vzor	Dámské body
rozměr na pasové přímce [mm]	181,99	190,19	175,39	161,00
rozměr na sedové přímce [mm]	243,89	255,75	252,58	229,00
hloubka sedu [mm]	195,38	198,92	196,90	198,50
délka mezi pasovou a hrudní přímkou [mm]	170,75	176,56	-	-
šíře ramene [mm]	117,34	117,46	117,69	120,83
boční prsní výběr [°]	20,60	13,41	-	-
prsní výběr [°]	5,27	5,93	-	-
mezi-prsní výběr [°]	8,87	9,36	-	-

Pro vyhodnocení již viditelné skutečnosti, že velikosti dílů jsou odlišné, byly rozdíly naměřených hodnot vepsány do tabulky 2 a tabulky 3. Pro jednodušší představivost a orientaci byly délkové míry přepsány na jednotku délky v centimetrech.

Tab. 2 - Rozdíl hodnot pro PD

	PD		Rozdíl hodnot
	Dámské body (DB)	Rozvinutý vzor (RV)	DB-RV
rozměr na pasové přímce [cm]	19,019	18,199	0,820
rozměr na sedové přímce [cm]	25,575	24,389	1,186
hloubka sedu [cm]	19,892	19,538	0,354
délka mezi pasovou a hrudní přímkou [cm]	17,656	17,075	0,581
šíře ramene [cm]	11,746	11,734	0,012
boční prsní výběr [°]	13,41	20,60	-7,19
prsní výběr [°]	5,93	5,27	0,66
mezi-prsní výběr [°]	9,36	8,87	0,49

Tab. 3 - Rozdíl hodnot pro ZD

	ZD		Rozdíl hodnot
	Dámské body (DB)	Rozvinutý vzor (RV)	DB-RV
rozměr na pasové přímce [cm]	16,100	17,539	-1,439
rozměr na sedové přímce [cm]	22,900	25,258	-2,358
hloubka sedu [cm]	19,850	19,690	0,160
šíře ramene [cm]	12,083	11,769	0,314

7.3 Vyhodnocení a diskuze

V tomto experimentu má model figuríny normální držení těla, vzpřímené postavení bez tělesné vady. Pro aplikaci sítě křivek a čar (drátěného modelu) bylo tělo figuríny rozděleno a rozřezáno pomocí transversálních rovin (hrudní, pasová a sedová) a frontální rovinou. Mediánní rovina dělí tělo na levou a pravou část. Vzniklo tak ořezané torzo pravé horní části modelu těla figuríny. Torzo figuríny je bez nohou, rukou, krku a rozdělené na přední a zadní část těla. Při aplikaci vedlejších křivek, v kombinaci s hlavními křivkami kopírující vybraný typ oděvu, se docílilo rozdělení torza těla figuríny do zón.

Dělení do zón může mít různé kombinace. Kombinaci dělení mohou ovlivňovat různé faktory, např. tělesné vady člověka. Při aplikaci této metody rozvinutí povrchu těla na tělo s tělesnou vadou, např. skoliózy, by se nesmělo tělo dělit na pravou a levou polovinu. Rozvinutí povrchu s touto vadou by vyžadovalo aplikovat jiné dělení do zón a různorodost jemnosti a hrubosti dělení jednotlivých zón. To by vedlo i k jiné prezentaci poskládaných dělených 2D ploch dílků zón.

Jemnost a hrubost dělení jednotlivých zón v této práci bylo zaměřené na křivost povrchu těla figuríny. Kroky dělení se pohybují v rozmezí 10 mm až 40 mm. Tyto vzdálenosti nebyly dány žádným pravidlem. V oblasti prsou a v oblasti pod lopatkou v přechodu do podpaží dochází k vyšší deformaci zakřivení modelu figuríny. Proto zde byl zvolen jemnější krok dělení. Nejhrubší krok dělení byl zvolen v oblasti sedu. Tato oblast je na přední části torza, v místě břicha, poměrně rovinná. Pozadí figuríny není výrazně tvarované, proto mohl být i tady zvolen hrubší krok dělení jako na přední části.

Rozvinutí povrchu se docílilo rozvinutím jednotlivých dílků do 2D ploch každé zóny. Tyto 2D plochy dílků byly manuálně vyskládány do tvaru prototypu oděvu za

pomoci zadávání úhlů pootočení a za udržování centrální vertikální linie středu a horizontální roviny v dolním kraji. Při vyskládání dochází k prázdným místům mezi 2D plochami dílků. K překrytí ploch dochází v oblasti sedu. Výsledek je znázorněn na Obr. 62. Výsledný rozvinutý tvar povrchu v podobě prototypu oděvu byl porovnán s konstrukcí dámského body.

Na obrázku 63 je možné pozorovat odlišnosti mezi rozvinutou částí těla a konstrukcí dámského body. Při přikládání porovnávaných částí dílů se udržovala společná vertikální rovina středu dílu a horizontální rovina v místě sedu. Na ZD rozvinutého vzoru se v místě otvoru krku otevřel výběr. Zadní střed není rovný. Kopíruje zakřivení zad. V dolní části zadního středu přechází rozvinutá malá plocha, která vznikla rozvinutím oblasti prohlubně mezi hýžděmi - jamka v místě kostrční kosti. Umístění pasového výběru určil bod, který byl zadán na křivce pasu hodnotou $\frac{1}{2} \text{ šz}$ (viz metodika Müller & Sohn) od zadního středu těla figuríny. V tomto bodě byla umístěna zadní lopatková přímka (křivka) na model těla figuríny. Tvar průramku byl dán způsobem říznutí rovinou v místě ramenního bodu. Kopíruje obvod ruky v místě ramene. Na PD rozvinutého vzoru je umístění pasového výběru dáno bodem ve vzdálenosti $1/10 \text{ oh} + 0,5$ (viz metodika Müller & Sohn) od předního středu těla figuríny. Bodem byla vedena prsní přímka (křivka). Tvar průramku je dán totožným způsobem jako u ZD rozvinutého vzoru. Otevření výběrů v oblasti prsou kopíruje tvar prsu a jeho okolí. V části mezi prsy je výběr rozdělen do malých výběrů. Jejich rozmístění je dáno tvarem rozvinutých dílků. Tvar průkrčníku PD rozvinutého vzoru byl dán řeznou rovinou určenou zájmovými body (7. krční obratel, boční krční bod a bod v krční jamce). Pro získání takového tvaru průkrčníku, jako je na PD konstrukci dámského body, by bylo nutné tvarovat křivku kolem obvodu krku ručně přidanými body. I tak by nemuselo dojít k jeho přesnému vytvarování.

Je znatelné, že plocha rozvinutého vzoru zadní části je větší než plocha střihu ZD dám. body. Naopak je tomu u přední části rozvinutého vzoru. PD dámského body je plochou větší než rozvinutá přední část. To potvrzují i hodnoty naměřené v Tab. 2 a 3. Kladné hodnoty rozdílu hodnot mezi PD dámským body a rozvinutým vzorem PD poukazují na tu skutečnost, že rozvinutý vzor je menší. Ale nejedná se o značný rozdíl, hodnoty rozdílu se pohybují v milimetrech. Výrazný rozdíl se objevuje u záporné hodnoty úhlu rozvěru v bočním prsním výběru. Tato hodnota jen potvrzuje to, že rozvinutý tvar přesněji kopíruje tvar prsa. V Tab.3 hodnoty rozdílu mezi PD dámského body a rozvinutým vzorem vykazují záporné hodnoty. Plocha rozvinutého vzoru ZD je

tedy větší než plocha vzoru ZD dám. body. Naopak je tomu v šířce náramenice. Tyto odlišnosti způsobilo dělení modelu figuríny frontální rovinou určenou vybranými zájmovými body na těle figuríny. Z hlediska konstrukce střihu dám. body platí pravidlo, že šířka PD je větší jak šířka ZD. To lze vysvětlit tím, že v konstrukci střihu oděvu dochází výpočtem regresního vzorce k posunu boční přímky do zadního dílu.

Sklon náramenice u rozvinutého vzoru naznačuje, že model těla figuríny by měl mít mírný sklon ramene. Rozvinutý vzor samozřejmě kopíruje tvar ramene říznutého frontální rovinou. Při odzkoušení konstrukce střihu dám. body na reálném modelu figuríny by mělo docházet v místě ramene k mírnému táhnutí nebo v místě krku k volnosti. Na pořízených fotografiích (na Obr. 37) není tento defekt zřetelný. Tento fakt ovlivňuje to, že odzkoušený střih dámského body byl ušit z pružného úpletového materiálu – plavkoviny. Defekt se díky tažnosti materiálu nemusí v náramenici projevovat. Nemůžeme ale tvrdit, že konstrukce dámského body je ve sklonu náramenice nepřesná. Metodika Müller & Sohn má pro sklon náramenice ověřený konstrukční postup.

Součet naměřených obvodových rozměrů rozvinutého vzoru a součet obvodových rozměrů konstrukce dámského body je téměř shodný. Hodnoty se liší v milimetrech.

8. Závěr

Literární rešerše byla zpracována na základě studie literatury metod postupů zpracování naskenovaných dat lidského těla. Metody lze shrnout do obecného postupu, který je následující:

- Digitalizace lidského těla
- Naskenovaná data povrchu těla (mrak bodů)
- Předúprava naskenovaných dat
 - Filtrace
 - Orientace naskenovaných dat
 - Detekce vzniklých děr při skenování objektu
- Stavba drátového modelu
 - Extrakce hlavních a vedlejších somatometrických bodů
 - Proložení bodů křivkami
- Modelování povrchu těla
 - Výstavba povrchu těla pomocí ploch
- Ostatní úpravy
 - Symetrizace modelu

Další studie byla zaměřena na aplikaci těchto dat v procesu konstrukce a modelování oděvů. Před aplikací virtuálního 3D oděvu je nutná analýza počítačového modelu těla. Analýzou rozumíme model těla rozdělit pomocí horizontálních a vertikálních rovin. Postup určují nejen výchozí somatometrické body, ale také zvolený typ oděvu pro 3D vizualizaci. 3D vizualizace oděvu na model těla je možná v podobě drátěného modelu buďto přímo na povrch těla (oděvy z elastických tkanin), nebo montáží křivek kopírující tvar těla s danou volností v obvodových průřezech těla. Obecně existují tři možné přístupy 3D vizualizace oděvu.

Dalšími úpravami (potáhnutí drátěného modelu konturou a optimalizace oděvu) dosáhneme takového 3D tvaru oděvu, který je připraven pro rozvinutí do 2D plochy. Při rozvinutí je nutné dodržovat postupy a pravidla, kterými se dosáhne správného konečného tvaru 2D prototypu oděvu.

Cílem experimentální části bylo realizovat rozvinutí povrchu vybrané části těla figuríny a porovnat výsledný tvar s tvarem konstrukčního stříhu. Rozvinutí povrchu a

následné porovnání bylo realizováno v software Catia V5. Pro práci byly využity naskenovaná data dámské figuríny. Při rozvinutí povrchu těla se aplikovaly některé části nastudovaných postupů z literární rešerše. Celý proces byl uskutečněn v modulu Generativ Shape Design.

Pro experiment se vybrala horní část modelu těla figuríny a za vhodný oděv byla zvolena konstrukce dámského spodního prádla – dámské body. Před aplikací souboru křivek na povrch těla figuríny bylo nutné model ořezat na samotné torzo pravé poloviny hrudníku bez nohou, krku a ruky. Pomocí křivek tvarovaných přímo na povrch těla byl model rozdělen do několika zón. Každou zónu bylo snadné pak rozčlenit na další dílky. Ty se pak rozvinuly do 2D plochy.

V modulu Drafting se rozvinuté 2D plochy sestavily do tvaru prototypu oděvu dámského body. Podoba rozvinutého vzoru byla následně porovnána s tvarem konstrukce dámského body. Výsledky byly vyhodnoceny.

Pro vyhodnocení byly změřeny hodnoty obvodových a délkových rozměrů u rozvinutého vzoru a konstrukce dámského body. Porovnáním těchto hodnot došlo k tvrzení, že jednotlivé části se velikostí liší. To bylo způsobeno volbou umístění řezné frontální roviny při dělení na zadní a přední část torza modelu figuríny. Také to lze vysvětlit tím, že v konstrukci střihu oděvu dochází výpočtem regresního vzorce k posunu boční přímky do zadního dílu. Další rozdíl byl zpozorován ve sklonu náramenice na konstrukci dámského body. Rozvinutý vzor samozřejmě kopíruje tvar ramene říznutého frontální rovinou. Nemůžeme ale tvrdit, že konstrukce dámského body je ve sklonu náramenice nepřesná. Metodika Müller & Sohn má pro sklon náramenice ověřený konstrukční postup.

Na základě výsledku experimentu je možné tvrdit, že lze pomocí softwaru Catia V5 rozvinout povrch lidského těla. Následná úprava na tvar prototypu oděvu je dána kreativitou modeláře. V této práci je tvar sestaveného prototypu oděvu prvním experimentálním řešením.

Verze metody postupu rozvinutí povrchu figuríny v softwaru Catia V5 by mohla být zdokonalována. Tvůrčí schopnosti modeláře se meze nekladou. Měl by být však znalý v oblasti antropometrie a anatomie člověka vůbec. To by napomohlo k dalším studiím zabývajících se zlepšením a kvalitou modelů v oděvním průmyslu.

Při zpracovávání materiálů této práce se narazilo na spousty zajímavých matematických metod zpracování naskenovaných dat. Jejich souhrnná studie by mohla být dalším tématem navazujícím na tuto diplomovou práci. Další zajímavou navazující

studií by mohlo být vypracování různých způsobů dělení lidského modelu těla pomocí sítě křivek (dělení do zón). Nehledělo by se na střih prototypu oděvu, ale způsob dělení by se zaměřil výhradně na tvar (zakřivení, geometrii) těla. Výzkumem pak dojít k výsledku, jaký způsob dělení modelu těla je pro rozvinutí jeho povrchu optimální. Dále výsledný rozvinutý povrch, nebo-li jeho jednotlivé 2D plochy, by bylo možné sestavit do různých modelových řešení prototypů oděvů.

Literatura

- [1] YUNCHU, Yang; WEIYUAN, Zhang. *Prototype garment pattern flattening based on individual 2D virtual dummy*. International Journal of Clothing Science and Technology. Vol. 19, No. 5, 2007, pp.334-348. ISSN: 0955-6222.
- [2] C.L. WANG, Charlie; WANG, Yu; M.F.M., YUEN. Matthew. *Feature based 3D garment design through 2D sketches*. Computer-Aided Design. Vol. 35, Januar 2002, pp. 659-672.
- [3] DIEVAL, Florence; MATHIEU, Daniel; HERVE, Karine; FURANE, Bernard. *Voluminal reconstruction of the bodies applied to the cloth trade*. International Journal of Clothing Science and Technology. Vol. 13, No. 3/4, 2001, pp.208-216. ISSN: 0955-6222.
- [4] WEI, Weishu; LUO, Xiaonan; ZHENG, Li. *Layer-Based Mannequin Reconstruction and Parameterization from 3D Range Data*. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4975, 2008, pp. 498-504.
- [5] DEKKER,L.; DOUROS, I.; BUTON, F; TRELEAVEN,P.. *Building Symbolic Information for 3D Human Body Modeling from Range Data*. 3-D Digital Imaging and Modeling. Vol. 31, 1999, pp. 388 – 397. ISBN: 0-7695-0062-5.
- [6] SEO, Hyewon; MAGNENAT-THALMANN, Nadia: *An example-based approach to human body manipulation*. Graphical Models. Vol. 66, Issue 1, January 2004, pp. 1-23
- [7] PETRÁK, Slavenka; DOUBRAVKO, Rivale. *Systematic representation and application of a 3D computer-aided garment construction method, Part I: 3D garment basic cut construction on a virtual body model*. International Journal of Clothing Science and Technology. Vol. 18, No. 3, 2006, pp.179-187. ISSN: 0955-6222.
- [8] DAANEN, Hein; HONG, Sung-Ae. *Made-to-measure pattern development based on 3D whole body scans*. International Journal of Clothing Science and Technology. Vol. 20, No. 1, 2008, pp.15-25. ISSN: 0955-6222.
- [9] KRZYWINSKI, Sibille; RODEL, Hartmut; SCHENK, Andrea. *Links between design, pattern development and fabric behavior for clothing and technical textiles*. Journal of Textile and Apparel. Technology and Management. Vol.1, Issue 4, Summer 2001, pp. 1-8.

- [10] AU, C.K.; YUEN, M.M.F.. *Feature-based reverse engineering of mannequin for garment design*. Computer-Aided Design. Vol. 31, 1999, pp. 751-759.
- [11] FANG, Jing-Jing; DING, Yu; HUANG, Su-Chin. *Expert-based customized pattern-making automation: Part 2.Dart design*. International Journal of Clothing Science and Technology. Vol. 20, No. 1, 2008, pp.41-56. ISSN: 0955-6222.
- [12] C.L. WANG, Charlie. *Parameterization and parametric design of mannequins*. Computer-Aided Design. Vol. 37, Issue 1, Januar 2005, pp. 83-98.
- [13] ING. DRÁPELA, Miloslav. *Rapid Prototyping (RP) & Reverse Engineering (RE)* [online]. 2006 [cit.2011-04-20]. Dostupné na:
<<http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZRI/RE.pdf>>
- [14] NAVRÁTIL,Robert. *Optické 3D skenery*. [online]. Leden 2000. [cit.2011-04-20]. Dostupné na: <<http://robo.hyperlink.cz/re-teorie/main04.html>>
- [15] ŠIMONÍK, Martin. *Digitalizace - její princip a rozdělení* [online]. Červen 2004, MM 2004 / 6, k.č. 040618 [cit.2010-04-21]. Dostupný na:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni>>
- [16] Grafika ON-LINE. Počítačová grafika [online]. [cit.2010-04-20]. Dostupné na:
<<http://forum.grafika.cz/file.php?75,file=620050>>
- [17] ING. KALOVÁ, Ilona; ING. HORÁK, Karel. *Vysoké učení technické v Brně* [online]. Optické metody měření 3D objektů. 2005/23, 14.04.2005 [cit.2010-04-21]. Dostupný na: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html#kap4>>
- [18] N. N. ANH, Dao. *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně* [online]. Technologie bezkontaktních přístrojů určených pro měření nohou. 2008 [cit.2011-04-20]. Dostupné na:
<http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/5705/dao%20nguyen%20ngoc_2008_bp.pdf?sequence=1>
- [19] NAVRÁTIL,Robert. *Optické 3D skenery* [online]. Leden 2000 [cit.2011-04-20]. Dostupné na: <<http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main05.html>>
- [20] NAVRÁTIL,Robert. *Optické 3D skenery* [online]. Leden 2000 [cit.2011-04-20]. Dostupné na: <<http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main07.html>>
- [21] NAVRÁTIL,Robert. *Optické 3D skenery* [online]. Leden 2000 [cit.2011-04-20]. Dostupné na: <<http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main05.html>>
- [22] Hamamatsu. Bodyline Scanner. [online]. [cit.2010-04-20]. Dostupné na:
<http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/parts_C/e_blc9036.pdf>

- [23] *Image Twin*. 3D Body Scanner [online]. [cit.2010-04-20]. Dostupné na:
<<http://apparel.edgl.com/Media/DocumentLibrary/tc2.pdf>>
- [24] ING. LINKOVÁ, Ph.D., Ivana. *Základy počítačového modelování křivek a ploch*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-04011-9.
- [25] OSVALD, Vojtěch. *GIS a Delaunayova triangulace* [online], 29-Jan-2007 [cit.2010-04-20]. Dostupné na: <<http://num.kma.zcu.cz/galerie/MM-prace/Galerie%20MM%202007/Osvald-%20GIS%20a%20Delaunayova%20triangulace.doc>>
- [26] DOC. ING. HUDEC, CSc., Bohuslav; ING.FELKER, Ph.D., Petr. *Základy počítačové grafiky*. Praha: České vysoké učení v Praze, 2007. ISBN 978-80-01-03608-2.
- [37] BC. ŽENOŽIČKOVÁ, Marie: *Hodnocení 3D objektů a lidského těla*, 2010. 90 s. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [38] CINERT, Jan. *CATIA forum* [online]. 2009 [cit.2011-04-25]. Seznámení s CAD software CATIA V5. Dostupné na: <<http://www.catia-forum.cz/manual-catia/introduction/>>

Seznam příloh

Příloha 1: 3D skenery

Příloha 2: Moduly GSD a Drafting v softwaru Catia V5

Příloha 3: Postup konstrukce dámského prádla

Střih dámského prádla v měřítku M 1:1

Příloha 1

3D skenery

Fotogrammetrické (optické)

Budoucnost 3D digitalizace bezesporu patří optickým 3D skenerům. Princip spočívá v nasnímání objektu z několika úhlů pomocí optického zařízení. Ručně nebo pomocí polohovacího zařízení (krokový motorek řízený počítačem) se objektem otáčí. Při každém natočení se objekt vyfotí (nasnímá) a sejmutá data se odešlou do počítače. Po získání nasnímaných obrazů ze všech úhlů pohledu se data zpracují a digitalizovaný model se vytvoří metodou aproximace. Kvalita zdigitalizovaného objektu se dá ovlivnit především počtem získaných snímků. Při snímání musí být za skenovaným objektem jednobarevné pozadí (barva, která je kontrastní s objektem), jinak by data nebyla použitelná. Při nedodržení tohoto pravidla by nebylo možné oddělit objekt od prostředí (tzv. vymaskování). Před vlastním skenováním je vhodné na objektu vyznačit několik orientačních bodů pro přesnější vyskládání obrazů ve 3D objekt. Na lidském těle to mohou být různé zájmové body, nebo somatometrické body. Ty nám usnadní další práci s digitalizovaným a upraveným modelem, např. při měření tělesných rozměrů.

Optické skenery využívají nejčastěji metodu triangulace. Jednotlivé obrazy jsou obyčejné 2D fotografie. Výhodou těchto 2D fotografií je, že informace o povrchu objektu (textuře), je obsažena již ve skenovaných datech, proto ji není nutné uměle dotvářet. Nevýhoda spočívá ve vytváření modelu aproximační metodou. Ze 2D obrázků (profilů) systém nedokáže zviditelnit prohlubně a díry, které nejsou průchozí. Optický skener dokáže z obrysu rozpoznat jen nepatrné náznaky změny hloubky povrchu v kritických místech prohlubní. Mezi výhody optických skenerů patří hlavně mobilita, flexibilita, rychlost měření, přesnost a vysoká hustota bodů.

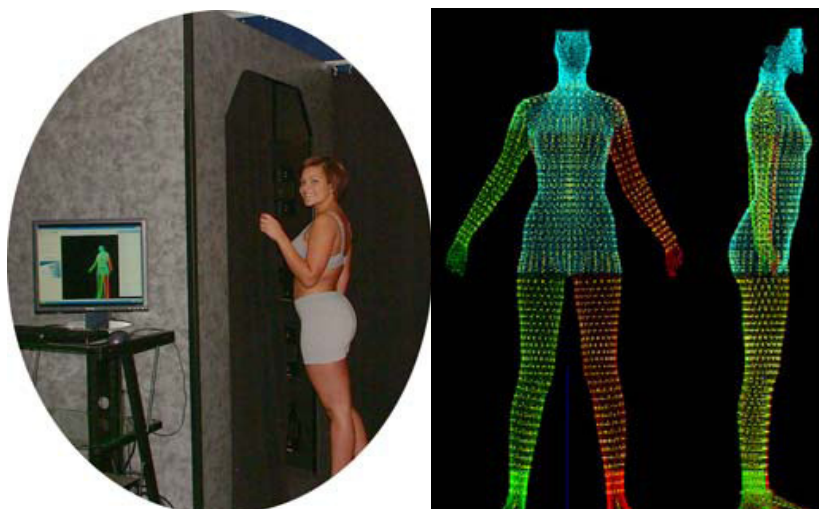
Vývojem těchto zařízení se zabývají firmy GOM, Steinbichler, Breuckmann a Opton.[15] [16]

Optický skener 3D Body Scanner (TC)2

Tento optický skener na Obr. 1. má malé rozměry, tzn. vejde se kamkoli. Automatické měření a sběr dat během několika sekund. Skenovací doba je 8 sekund, hustota dat 600.000 - 1 milion bodů, výkon 15 Amper (jeden výstup), přesnost neskenovaného bodu <1 mm a obvodová přesnost <3 mm. Sken pracuje na bezpečné

technologii skenování pomocí bílého světla a nepohyblivé skenovací hlavy. Obsahuje režim soukromého skenování (ruční páky, spuštění skenování ovládané stiskem tlačítka na držadle páky).

Použití 3D skenovací technologie se využívá ve zdravotnictví a fitness, analýza tvaru těla, průzkum dimenzování, 3D vývoj produktů pro oblečení.[23]



Obr. 1 - 3D Body Scanner [23]

Laserové

Laserový skener využívá vlastností laserového paprsku. Skenování předmětu probíhá tak, že se kolmo proti předmětu vyšle laserový paprsek, který se od něho odrazí a vrátí se zpět do skenovacího zařízení. Tam se odražený paprsek vyhodnotí. Z těchto dvou základních zpráv skener získá přesnou polohu bodu, kterou odešle do počítače. Takto skener obkrouží laserovým paprskem celý předmět, nebo naopak objekt se otáčí a skenovací zařízení stojí. Kvalitu zdigitalizovaného předmětu udává hustota, s jakou laserový paprsek pokryl plochu hmotného předmětu. Výstupem je soubor dat o polygonech definujících geometrii povrchu předmětu. Obvykle bývá součástí skenovacího zařízení i barevná kamera, která snímá barevnou informaci (princip jako u optických skenerů). Výsledný objekt má jak přesnou geometrickou napodobeninu tak i stejnou texturu.

Podle uspořádání snímacího zařízení jednotlivých typů laserových 3D skenerů se pro vyhodnocení prostorových souřadnic (pozic) nasnímaných bodů využívá metody triangulace nebo TOF (time of flight). [15] [16]

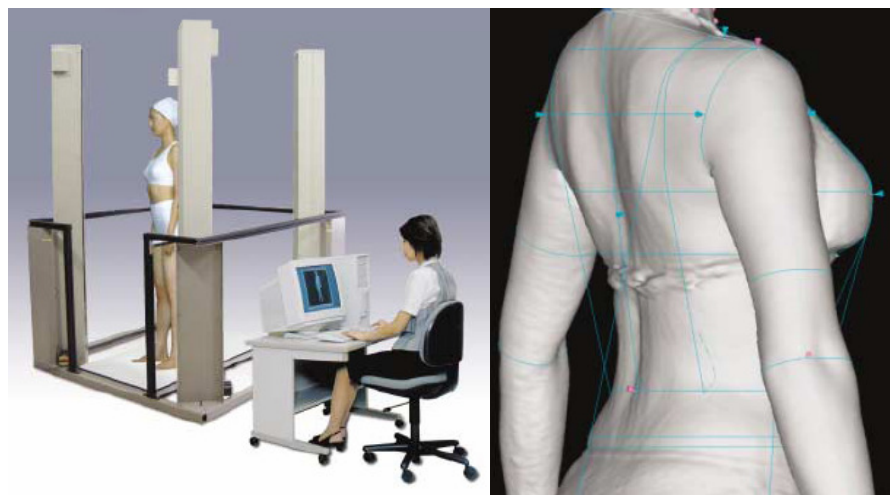
Výhodou těchto skenerů je jejich vysoká přesnost a nenáročná obsluha během skenování. Rozpoznají neprůchozí otvory, prohlubně a výstupky.[15]

Laserový skener Bodyline od firmy Hamamatsu

Laserový skener Bodyline firmy Hamamatsu na Obr. 2. v kombinaci s uživatelským "Bodyline Manager" softwaru poskytuje pohodlný způsob, jak automaticky změřit lidské tělo.

Za použití optické triangulace umožňuje přesné bezkontaktní měření. Vysoká přesnost měření lidského těla ($\pm 0,5\%$). Rozsah měření až do 2 m výšky postavy. Volitelný čas skenování. Vysoká rychlost skenování trvá 6 sekund s 1024000 naměřenými body a skenování s vysokou přesností trvá 11 sekund s 2048000 naměřenými body. Speciálně vyvinuté vztyčené sloupce skeneru umožňují uživateli definovat orientační body na těle. Tyto sloupce jsou detekovány skenerem a automaticky zobrazovány v softwaru. Získané orientační body se automaticky zobrazí v několika sekundách. Bodyline Manager umožňuje zobrazit orientační body, které se doplňují interaktivně. Ty mohou být pojmenovány a uloženy společně s automaticky získanými body.

Tato technologie skenování může být využita pro nejrůznější aplikace v různých oblastech jako medicína a zdraví, sport, oděvní průmysl. [22]



Obr. 2 - Skener Bodyline od firmy Hamamatsu, orientační body na těle [22]

Dotykové (mechanické)

Mechanické skenery pracují buď s ručním nebo strojovým polohováním měřicího hrotu. Skener s ručním polohováním je vhodný pro rychlý přenos základních rysů objektu (přesnost řádově v desetinách milimetru). Výhodou těchto skenerů je mobilita a nízká cena. Skenery se strojovým polohováním jsou CMM (Control Measure Machine) nebo frézky s dotykovou sondou.

Princip toho zařízení spočívá v tom, že skenovaný objekt manuálně osaháme hrotem skeneru, který je připevněn na mechanickém rameni. V každém kloubu ramene je zabudovaný senzor zaznamenávající souřadnice natočení ramene v onom snímaném místě. Polohy snímaného bodu se dosáhne vyhodnocením údajů ze všech kloubů ramene. Pro získání přesného digitálního obrazu hmotného objektu je vhodné na objektu vyznačit zájmové body, které se musí nasnímat. Počet těchto bodů je závislý na složitosti tělesa a na požadované přesnosti. Výstupem je mrak bodů. Touto metodou se nedají získat informace o textuře povrchu objektu. Nevýhoda zařízení spočívá v nutnosti osahávat objekt hrotem skeneru ručně. Proto je tato metoda časově náročná. [15] [16]

Mechanické skenery jsou schopny digitalizace poměrně složitých těles jak s dutinami tak i s nerovnoměrným povrchem. [15]

Destruktivní

Jak už název napovídá, u destruktivních 3D skenerů dochází ke zničení skenovaného předmětu.

Zařízení 3D skener CSS-3000 snímají jak vnitřní, tak i vnější povrch objektu. Předmět je před procesem digitalizace pokryt speciálním materiálem. Ten při zpracování 2D obrazů poskytne vysoký kontrast mezi předmětem a výplňovým materiálem. Poté je umístěn do vakuové komory, kde se z prostoru vyčerpá vzduch. Tak se speciální kontrastní materiál dostane do všech dutin skenovaného předmětu. Připravený blok se přemístí do skenovacího zařízení, kde se připevní k frézovacímu stolu. Skenování předmětu proběhne v okamžiku odfrézování ultratenké vrstvy materiálu. Každý takto vzniklý povrch se pak skenuje pomocí optického skeneru a získaná data se odesílají ke zpracování. Použití převážně při složité vnitřní digitalizaci objektu. [15] [16]

Uplatnění je zejména v oblasti reversního inženýrství při digitalizaci součástí se složitou vnitřní geometrií. Podmínkou pro skenování touto metodou je snadné opracování předmětů. [20]

Ultrazvukové

Ultrazvukové skenery fungují na principu bezkontaktního snímání povrchu objektu ultrazvukovou sondou. Skenování předmětu se provádí ručně ultrazvukovou sondou ve tvaru pistole s kovovým hrotem. Hrot přikládáme ke skenovanému povrchu předmětu a stiskem spouště dojde k vyslání ultrazvukového signálu, který je dekodován pomocí ultrazvukových čidel do prostorových souřadnic. Ty je možno vkládat přímo do CAD systémů. [15] [16]

Nevýhodou zařízení je jeho relativně malá přesnost, která se pohybuje v rozmezí 0,3 až 0,5 mm. Hlavní uplatnění nachází v oblastech filmu, reklamy a animacích. [15]

Rentgenové

Tato skenovací zařízení se používají také na skenování vnitřní geometrie objektu, ale za použití rentgenového záření. Jedná se o nedestruktivní metodu digitalizace. Princip je stejný jako klasický rentgen používaný ve zdravotnictví s tím rozdílem, že se při záření používá vyšší intenzita. Pro získání dat pro 3D model se převážně nepoužívají.

Zařízení jsou většinou mobilní a používají se např. ke kontrole potrubí, kotlů nebo jiných uzavřených nádob. [15]

Příloha 2

Moduly GSD a Drafting v softwaru Catia V5

Software CATIA V5 používaný hlavně v leteckém, automobilovém a spotřebním průmyslu. Patří mezi produkty podporující návrh, výpočty, výrobu a správu všech dokumentů nového výrobku. Je to modulární systém. Moduly charakterizují pracovní prostředí. [28]

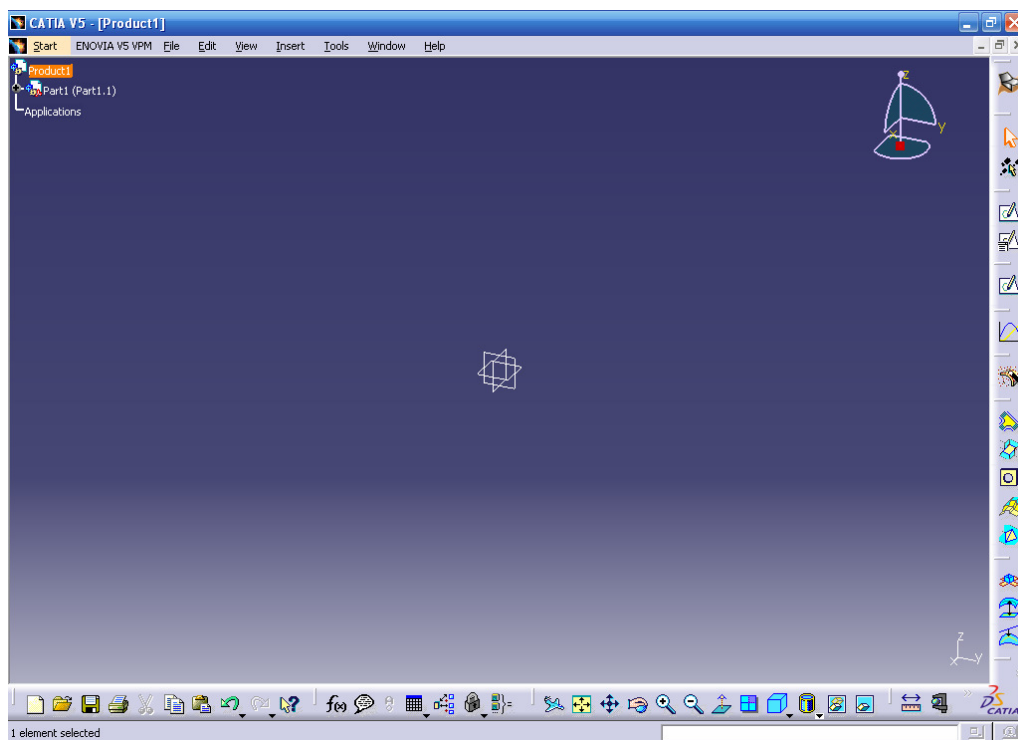
Modul Generativ Shape Design (GSD)

Modul GSD obsahuje funkce pro vytváření drátové geometrie, základních ploch, funkce pro operace s těmito plochami a několik analýz. Pracovní prostředí *Generativ Shape Design* se spustí ze *Start* menu na Obr. 1. [28]



Obr. 1 - Start menu s pracovními prostředími a spouštěním GSD

Prostředí GSD je ukázáno na následujícím Obr. 2.



Obr. 2 - GSD

Ikony používané při práci v experimentální části a jejich stručný popis:

Panel **Wireframe** - panel nástrojů pro vytváření drátové geometrie



Point = vytvoří bod způsobem zadaným v položce Point type (body na křivce, v rovině, atd.)



Point and Planes repetition = opakovaný bod (rovinu) - vytvoří body na vybrané křivce v zadaném počtu v konstantních rozestupech



Line = vytvoří přímku způsobem zadaným v položce Line type (dvěma body, z bodu na ploše pod úhlem ke křivce, atd.)



Polyline = lomená 3D čára - prostorová křivka složená ze segmentů. Vytvoříme ji postupným výběrem předem definovaných bodů



Plane = vytvoří rovinu způsobem zadaným v položce Plane type (třemi body, paralelní k dané rovině, atd.)



Planes Between = řada rovin - vytvoří roviny mezi vybranými rovinami v zadaném počtu v konstantních rozestupech



Projection = projekce - promítne vybraný element na plochu



Intersection = průnik - vytvoří průnik dvou vstupních elementů



Spline = aproximační křivka - vytvoříme ji postupným výběrem bodů a směrů



Panel *Operations*



Split = ořezání, rozdělení elementu – ořízne nebo rozdělí plochu nebo křivku. Řez lze definovat plochou nebo křivkou



Panel *Surfaces*



Multi-Sections Surface = plocha definovaná několika průřezy – vytvoří plochu definovanou několika rovinnými profily budoucí plochy popř. dalšími křivkami a limitujícími podmínkami



Panel *Developed Shapes*



Unfold = rozvin – slouží k rozvinu přímkových ploch (s nulovou křivostí)



Disassembler = rozdělení elementů – slouží k rozdělení elementů na jednotlivé části, to lze aplikovat jak na elementy s historií, tak i bez ní



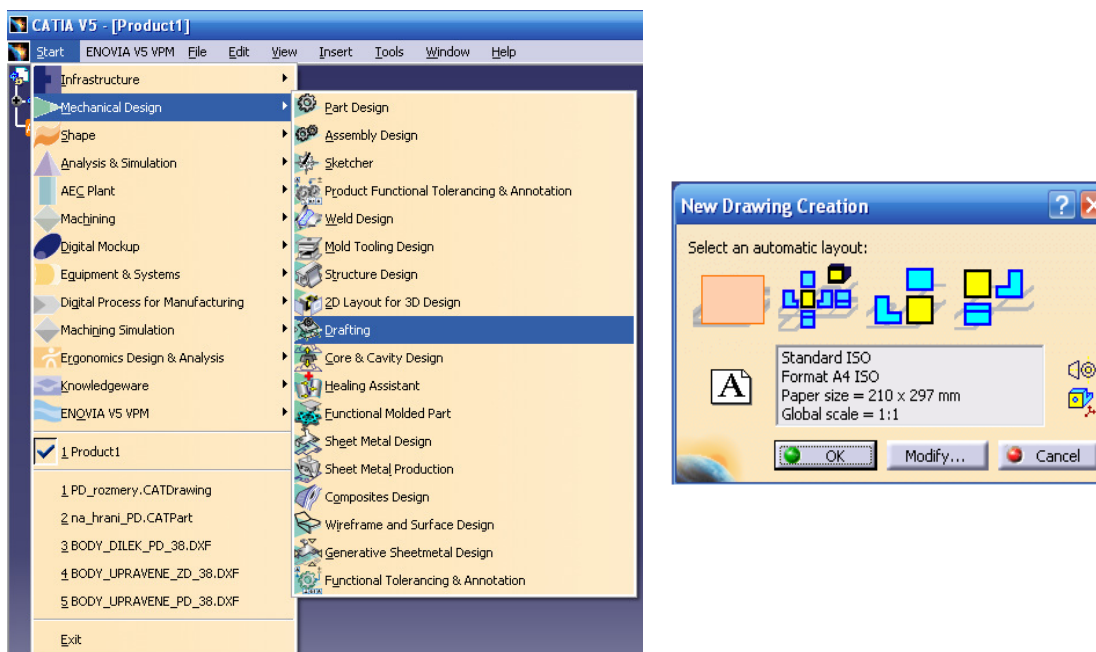
Scaling = změna měřítka – změní měřítko elementu v zadaném směru



Hide/Show = přesune objekt z viditelného do neviditelného prostoru nebo obráceně. Je-li objekt zobrazený či skrytý je snadno poznat v hierarchickém stromu - skrytý objekt je zobrazen průhledně. [28]

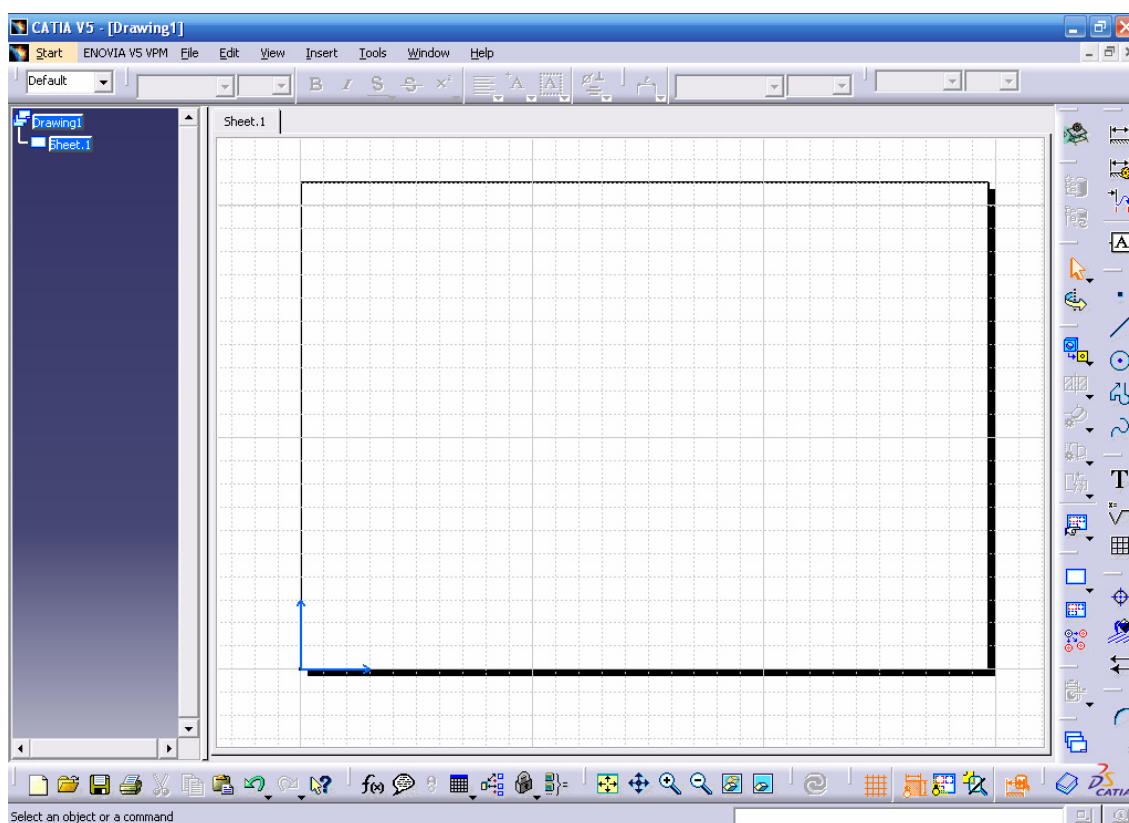
Modul Drafting

Modul Drafting slouží ke generování výkresové dokumentace na základě objemového nebo povrchového 3D modelu. Spuštění modulu *Drafting* přes *Start* menu, viz Obr. 3. [28]



Obr. 3 - Start menu s pracovními prostředními a spouštěním Drafting

Prostřední modulu Drafting je vidět na Obr. 4.



Obr. 4 Pracovní prostředí modulu Drafting

Ikony používané při práci v modulu Drafting:



Panel *Graphic Properties*

= nástroje pro nastavení grafických atributů (barva, průhlednost, tloušťky čar,...) u jednotlivých objektů a elementů.



Front View = nárys - vytvoří nárys. Po spuštění této funkce musíme v okně se 3D geometrií tělesa označit rovinu nebo rovinnou plochu tělesa jako definici roviny nárysu.



Angle Dimension = vytvoří kótu úhlovou



Length/Distance Dimension = vytvoří kótu jednoduchou délkovou



Panel *Geometry Creation*



Point by Clicking = bod - vytvoří bod zadáním souřadnic myší nebo zadáním xy souřadnic



Line = přímka - vytvoří přímku zadáním dvou koncových bodů nebo středového a koncového bodu přímky [28]

Příloha 3

Tab. 1

Hlavní konstrukční rozměry	Hodnoty [cm]
Výška postavy (vp)	168,0
Obvod hrudníku (oh)	86,0
Obvod hrudníku pod prsy	72,5
Obvod pasu (op)	70,2
Obvod sedu (os)	97,0
Šířka zad (šz)	34,0
Šířka ramene (šr)	12,0
Délka zad (dz)	38,1
Délka od boč. krč. bodu k pasu	40,5
Délka od boč. krč. bodu k prsu	25,0

KONSTRUKCE DÁMSKÉHO SPODNÍHO PRÁDLA				
Literatura: Rundschau: Sammelband Schnittkonstruktionen für Damenbekleidung nach Müller&Sohn, 5/2002				
Zobrazená konstrukce odpovídá velikosti 38 velikostního sortimentu DOB Hlavní konstr. rozměry: vp = 168 cm, oh = 86 cm, podprsní oh = 72,5 cm, op = 70,2 cm, os = 97 cm				
Pomocné rozměry:				
zhp	zadní hloubka podpaží	$1/10\text{ oh} + 11,3$	19,9 cm	
dz	délka zad	$\frac{1}{4}\text{ vp}$	42,0 cm	
hs	hloubka sedu	zhp + dz	58,0 cm	
špk	šířka průkrčníku	$1/10\text{ z } \frac{1}{2}\text{ oh} + 2,3$	6,6 cm	
šr	šířka ramene		12,0 cm	
dpp II	délka od boč. krč.bodu k pasu + (oh-poh)/5		42,7 cm	
dps II	délka od boč.krč.bodu k prsu		25,0 cm	
šz	šířka zad	$\frac{1}{2}\text{ šz} = \frac{1}{8}\text{ oh} + 5$	15,75 cm	
š.prů	šířka průramku	$\frac{1}{8}\text{ oh} - 2$	8,75 cm	
špd	šířka přední	$\frac{1}{4}\text{ oh} - 3$	18,5 cm	
Zadní díl a přední díl				
P.č.	Rozměr	Konstrukční úsečka	Vzorec	Kontrol. výpočet
1.	zad. středová přímka a krční přímka	$1\perp_k$		

2.	zadní hloubka podpaží	K1H1	zhp	19,9 cm
3.	délka zad	K1P1	dz	38,1 cm
4.	hloubka sedu	K1S1		58,0 cm
5.	rozkroková přímka	S1R1	1/10 os	9,7 cm
6.	horizontální přímky	k, h, p, s, r \perp 1		
7.	šířka zad	H1H3	šz	15,75 cm
8.	šířka průramku na zad. dílu	H3H4	$\frac{1}{2}$ š.prů	4,4 cm
9.	meziprostor	H4H4'	k = 5	5,0 cm
10.	šířka průramku na před. dílu	H4'H5	$\frac{1}{2}$ š.průr	4,4 cm
11.	přední šířka	H5H7	špd	18,5 cm
12.	umístění zadního pasového vybrání	H1H2	$\frac{1}{2}$ šz	7,9 cm
13.	prsí bod	H7H6	1/10 oh +0,5	9,1 cm
14.	vertikální přímky	2,3,4,4',5,6,7 \perp h		
15.	šířka průkrčníku	K1K2	špk	6,6 cm
16.	výška průkrčníku	K2K4 \perp k	k = 2	2,0 cm
17.	kružnice pro pomoc. bod pro vykreslení	k1 (K1, špk + 1) k2 (K4, špk + 1)		
18.	pomoc. bod pro vykreslení průkrčníku	k1 \cap k2 \Rightarrow O1 k3 (O1, špk + 1)		
19.	sklon náramenice zadního dílu	K3N3	k = 2	2,0 cm
20.	šířka náramenice	K4N3 \Rightarrow K4N4	šr	12,0 cm
21.	umístění montážního bodu	H3H31	$\frac{1}{4}$ zhp (konstr.)	5,0 cm
22.	montážní bod na zad. dílu	H31H32	k = 0,5	0,5 cm
23.	tvarování dolní části průramku ZD	k4 (H4, H3H4) k5 (H32, H3H4) k4 \cap k5 \Rightarrow O2 k6 (O2, H3H4)		
24.	přenesení rozměru na před. díl	H5H51	H3H31	

25.	umístění montážního bodu předního dílu	H5H52	$\frac{1}{4}$ š.prů (konstr.)	1,65 cm
26.		H5N5	H3N3	
27.		r1 (H5, H5N5)		
28.	umístění průramk. hrotu př. náramenice (vzdálenost měřit po kružnici r1)	N5N4'	$1/20$ oh + 2	6,3 cm
29.	pomocná přímka	N4'H51		
30.	pomocné body pro vykreslení průramku	H51H53 H53H54	$\frac{1}{2}$ N4'H51 k = 1	1,0 cm
31.	tvarování dolní částí průramku PD	k7 (H4', H4'H5) k8 (H5, H4'H5) => H55 k9 (H55, H4'H5) k7 \cap k9 => O3 k10 (O3, H4'H5)		
32.	přední délka do pasu	P6K6	dppII	42,7 cm
33.	délka k prsu	K6H61	dpsII	25,0 cm
34.	krční přímka předního dílu	$K6 \in k, k \perp 7$ $k \cap 7 \Rightarrow K7$		
35.		r2 (H61, H61K6)		
36.	průkrčníkový hrot před. náramenice náramenice předního dílu	r3 (N4', K4N4) $r2 \cap r3 \Rightarrow K61$ $\Rightarrow N4'K61$		
37.	šířka průkrčníku	K7K61'	špk	6,6 cm
38.	pomocná přímka pro vykreslení průkrčníku	K7H5		
39.	hloubka průkrčníku	K7K71	špk + 1,5	8,1 cm
40.	bod pro vykreslení průkrčníku na pomocné přímce	K7K8	špk + 0,7	7,3 cm
41.	umístění prsního vybrání	K61N6	K61'K6	
42.	prsní vybrání	N6H61 = H61N6' $\Rightarrow K61'N6'$		

43.		H7H71	H6H61	
44.	prsňí vybrání v před. střednici	H71H72 = H71 H72'	k = 1,5	1,5 cm
45.	prsňí vybrání umístěné v př. střednici	H72H61H72'		
46.	kontrolní rozměr	P5P71	¼ op - 1	16,55 cm
47.	kontrolní rozměr pro stanovení pasového zúžení (do rozměru nezahrnovat mezeru P4P4')	P71Px	½ op	35,1 cm
48.	pasové zúžení	P21P21' (P21'P2 = P2P21) P61P61' (P61'P6 = P6P61) P4P41 P4P41'	1/3 PxP1 P7P71 1/3 PxP1 1/3 PxP1	2,0 cm 1,9 cm 2,0 cm 2,0 cm
49.	délka vybrání pod pasovou linií zad. d.	P2S21	k = 14 až 16	15,0 cm
50.	kontrolní rozměr pro stanovení sedového tvarování (do rozměru nezahrnout mezeru S4S4')	S7Sx	½ os (bez přídávku na volnost)	48,5 cm
51.	sedové rozšíření	S4S41 = S4'S41'	1/2 S1Sx	
52.	tvarování bočních krajů	H4' P41' S41' H4 P41 S41		
53.	umístění bočních dolních bodů od sedové přímky kolmo nahoru	S42, S42'	k = 6 až 7	6,5 cm
54.	šířka na rozkrokové přímce	R1R12 = R7R71	k = 2 až 3	3,0 cm
55.	přemístění rozkrokového švu na PD	R7R72 => r' R72 ∈ r', r'⊥7	k = 3 až 5	4,0 cm
56.	obrys zadního dílu	K1 R1 R12 S42 P41 H4 H32 N4 K4		
57.	obrys předního dílu	K71 H72 H61 H72' R7 R71 S42' P41' H4' H51 H54 N4' N6 H61 N6' K61'		
Snížení přední náramenice o 1 cm, zvýšení zadní náramenice o 1 cm.				

Střih dámského prádla v měřítku M 1:1